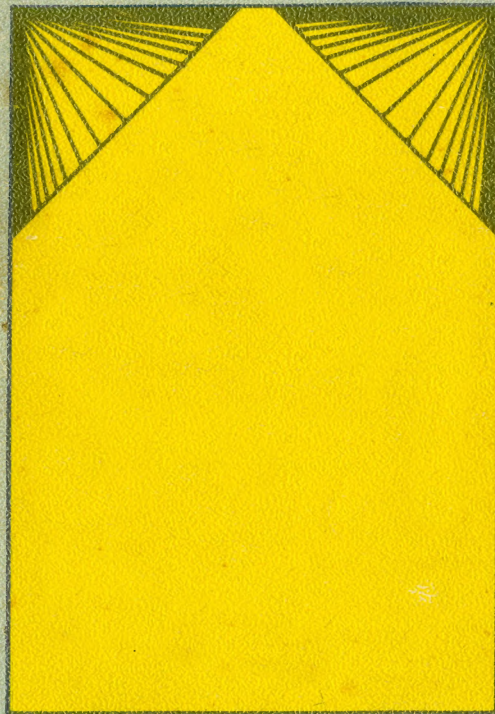


دكتور حسن بنوزيد القوي الكهرسية

الاضاءة



دكتور
حسن الكشوش
استاذة الامتصاص الكهرسية

دكتور
اسير على زكي
استاذة القوي الكهرسية

كلية الهندسة
جامعة الاسكندرية

الطبعة الاولى
حلال حري و...
الاسكندرية

الاضادة

دكتور
حسن البكوشى
استاذ هندسة الاتصالات الكهربائية

دكتور
أسير على زكى
استاذ هندسة القوى الكهربائية

كلية الهندسة - جامعة الاسكندرية

١٩٨٦

الناشر / منشأف بالاسكندرية
جلال حزى وشركاه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمة

هذا هو الكتاب الثالث فى مجموعة أسس شبكات توزيع القوى الكهربائية ويتناول موضوع الاضاءة الكهربائية • ورغم صغر كمية الطاقة الكهربائية المستخدمة فى أغراض الاضاءة بالنسبة للطاقة المستخدمة فى الأغراض الأخرى إلا أنها تمثل حملا حيويًا بالنسبة لمنظومات التوزيع الثانوية • ومما لا شك فيه أن أهمية الاضاءة فى حياة الإنسان ليست فى حاجة إلى تأكيد •

تعتبر الاضاءة فى كثير من بلدان العالم نوع من فروع الهندسة لها جمعياتها المتخصصة مثل جمعية هندسة الاضاءة Commission International de l'Eclairage - CIE وهيئاتها الدولية مثل الهيئة الدولية للاضاءة Illumination Engineering Society - IES • وعلى الرغم من أهمية هذا المجال فإنه لا يلقى دائمًا القدر الكافى من الاهتمام الجدير به فى المناهج الهندسية • وقد وضع هذا الكتاب لتغطية النقص الواضح فى المراجع والكتب التى تتناول هذا الموضوع باللغة العربية وهو موجه إلى مهندسى الكهرباء والعمارة الذين عادة ما تلقى على عاتقهم مسئولية تصميم الاضاءة فى شتى المجالات •

ولاشك أن تغطية موضوع الاضاءة تغطية شاملة قد يتطلب عدة مجلدات نظرًا لتسعبه وكثرة تطبيقاته • ولذلك تم وضع هذا الكتاب ، فى حجمه الحالى ، لتزويد القارئ بقاعدة كافية للامام باسـس تصميم الاضاءة الداخلية والخارجية وتمكنه من استيعاب ومتابعة المراجع الأكثر تخصصًا فى هذا الموضوع • وجدير بالذكر أن الاضاءة الداخلية ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالنواحي المعمارية والجمالية للمساحة أو الحيز الذى يراد اضاءته • ولم نتصدر لهذه

النواحي فى هذا الكتاب حيث أن هذا هو موضوع كتاب «الاضاءة داخل المباني» للاستاذ الدكتور يحيى حمودة (دار المعارف ١٩٨٤) .

يقدم الفصل الاول نبذة عامة عن الخواص الطبيعية للضوء تتضمن مقدمة مبسطة عن الالوان ويحتوى الفصل الثانى على تعريف المصطلحات والوحدات والقوانين الاساسية المستخدمة فى الاضاءة وذلك باستعمال النظام العالمى للوحدات .

ويتناول الفصل الثالث وصفا وافيا لانواع المصابيح المختلفة وخصائصها والتي تستخدم لغرض الانارة . وجدير بالذكر أنه منذ اختراع المصباح المتوهج فى عام ١٨٧٩ ومصابيح الزئبق والصوديوم عام ١٩٢٠ ثم المصابيح الفلورية عام ١٩٤٠ لم تكل مصانع المصابيح من بذل الجهود المستمرة فى البحوث والدراسات التى أدت الى انجازات كبيرة وتطورات هائلة فى تكنولوجيا صناعة المصابيح والمواد المستخدمة بها بحيث أمكن رفع كفاءتها وإطالة عمرها وتحسين أمانتها لنقل الالوان .

وقد أفرد الباب الرابع لمبادئ الاساسية لتصميم الاضاءة الداخلية فهو يزود القارئ بطرق تصميم الاضاءة والخطوات التى يجب اتباعها للحصول على مستوى معين من الاضاءة . وأيا كان نظام الاضاءة فى مكان معين ، فلا بد لهذا النظام أن يوفر الراحة النفسية والسيولوجية للمشاهد سواء كان هذا المكان مخصصا للقيام بأعمال بصرية معينة تتطلب درجة عالية من الدقة والعناية ، أو كان هذا المكان مخصصا لتواجد الأفراد لأغراض ترفيهية أو معيشية مختلفة .

ويتعرض الباب الخامس لموضوع اضاءة الشوارع . ورغم صعوبة هذا الموضوع الا أننا حاولنا أن نقدم للقارئ المبادئ الاساسية التى تمكنه من فهمه وتقدير أهميته وتزويده لتابعة وجهات النظر المختلفة والمواصفات القياسية الدولية والعناية والمراجع التخصصية .

وقد أدرجنا فى نهاية الكتاب قائمة بالمراجع التى يمكن الرجوع اليها والتي استخدمناها فى اعداد الفصول المختلفة .

ونود فى النهاية أن نقدم الشكر لمنشأة المعارف التى قامت بنشر هذا الكتاب وللمطبعة الفنية بالاسكندرية والعاملين بها لما قاموا به من مجهود لظهاره على هذه الصورة .

والله ولى التوفيق

الاسكندرية فى أكتوبر ١٩٨٥

د . آسر على زكى

د . حسن الكمثوشى

محتويات الكتاب

الفصل الاول

الخواص الطبيعية للضوء

1	...	...	مقدمة	1 - 1	
1	...	...	...	الخواص الموجية للاشعاع المرئى	2 - 1
2	...	...	...	الطبيعة الكمية للضوء	3 - 1
3	...	...	...	المدى المرئى من الطيف الكهرومغناطيسى	4 - 1
5	...	...	...	الخواص الضوئية للمواد	5 - 1
8	...	...	...	الالوان	6 - 1
11	...	...	...	التكافؤ الضوئى والطبيعة الثلاثية الالوان للرؤية	7 - 1
13	...	...	...	تطابق الالوان الطيفية والمعاملات الثلاثية للالوان	8 - 1
14	...	...	...	قوانين جراسمان	9 - 1
16	...	...	...	هثاث الالوان الاولى والكروماتيكية	10 - 1
21	...	...	...	درجة حرارة الالوان ودليل أمانة نقل الالوان	11 - 1
24	...	...	...	حساسية العين فى المدى الطيفى المرئى	12 - 1

الفصل الثانى

وحدات ونظم الاضاءة

25	...	...	مقدمة	1 - 2
25			الوحدات المستخدمة فى الاضاءة	2 - 2

28	3 - 2	قانون التدريب العكسي وقانون لامبرت للاستضاءة ...
31	4 - 2	الاستضاءة الافقية
33	5 - 2	الاستضاءة الرأسية
40	6 - 2	منابع ضوئية مرتبة فى صف
42	7 - 2	الانحنىات القطبية للشدة الاضائية
48	8 - 2	الفتومترات
49	9 - 2	الفتومتر الكروى التكاملى ...

الفصل الثالث

المصابيح الكهربائية

52	1 - 3	المصباح المتوهج
58	2 - 3	مصباح التنجستن - هالوجين
61	3 - 3	مصباح التفريغ الغازى ...
61	3 - 3 - 1	نبذة عامة عن مصابيح التفريغ
63	3 - 3 - 2	المصابيح الفلورية
75	3 - 3 - 3	مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض
79	3 - 3 - 4	مصباح الصوديوم ذات الضغط العالى ...
83	3 - 3 - 5	مصباح الزئبق ذات الضغط العالى ...
88	3 - 3 - 6	المصباح ذات الضوء المولف ...
89	3 - 3 - 7	مصباح الهاليد المعدنى
93	4 - 3	ملخص

الفصل الرابع

الاضاءة الداخلية

97	1 - 4	مقدمة
----	-------	-------

97	2 - 4	متطلبات الاضاءة ...
98	3 - 4	البهر
103	4 - 4	كمية الاستضاءة ...
104	5 - 4	النظام المختلفة لتوزيع الاضاءة
106	6 - 4	ثبات مستوى الاضاءة ...
110	7 - 4	المواد العاكسة والمواد النفاذة للضوء ...
110	8 - 4	خطوات تصميم الاضاءة الداخلية ...

الفصل الخامس

اضاءة الشوارع

137	1 - 5	مقدمة
138	2 - 5	مستوى النصوص
140	3 - 5	البهر
141	1 - 3 - 5	البهر المزعج
142	2 - 3 - 5	البهر المعوق ...
143	4 - 5	توصيات اللجنة الدولية للاضاءة
145	5 - 5	توزيع الفيرانييس
149	6 - 5	تصميم الاضاءة ...
	1 - 6 - 5	حساب الاستضاءة عند نقطة باستخدام منحنيات
150		الاييسولوكس ...
	2 - 6 - 5	حساب القيمة المتوسطة للاستضاءة بواسطة عامل
154		الانتفاع
160	3 - 6 - 5	حساب النصوص باستخدام جداول الانعكاس ...
	4 - 6 - 5	حساب النصوص عند نقطة باستخدام منحنيات
161		الاييسوكندلا/م ²

- 5 - 6 - 5 حساب القيمة المتوسطة للنصوع باستخدام منحنيات
 انتاجية النصوع 165
- 7 - 5 نبذة عن المواصفات القياسية فى البلاد المختلفة ... 167
- 8 - 5 أنواع المصابيح المستخدمة فى اضاءة الشوارع 173

الفصل الأول

الخواص الطبيعية للضوء

1.1 مقدمة :

يقال ان الانطباع الاول هو انطباع رؤية وعند التمعن والتفحص فى الاشياء تستخدم الانطباعات الاخرى • فنحن نرى دقائق الاشياء فى لحظة بسيطة باستخدام حاسة البصر فى حين أن حواس السمع واللمس والشم لاتعطى المخ تفاصيل دقيقة عما يحيط بالانسان فنظرة خاطفة لصورة ما قد تترك أثرا أو انطباعا فى المخ كبيرا جدا اذا ما قورن بالاثـر الذى يتركه وتر رنان مثلا • أما بالنسبة الى كيف نرى وما هى الاشياء التى نراها فما هى الـا عملية انتقال الطاقة • وقد فسرهما الاقدمون تفسيراً خاطئاً فى بعض الاحيان مثلما فعل الرومان والهندوس عندما فسروا رؤية الاشياء على أنها انتقال حزمة من الطاقة من عين الانسان الى الاشياء التى ينظر اليها وتلى ذلك تفسيراً آخر هو انتقال الطاقة الضوئية من الاشياء المراد رؤيتها الى العين عن طريق وسط مرن أطلق عليه اسم الاثير وهناك تفسيرات أخرى مفادها أن الاشعاع الضوئى ما هو الا مادة لها كتلة سكون منعومة تنتشر بسرعة مقدارها 2.998×10^8 متر لكل ثانية وتؤثر فى العين فتسبب رؤية الاشياء •

2.1 الخواص الموجية للاشعاع المرئى :

هناك نظريتان حديثتان تفسران انتقال الطاقة الضوئية من مكان الى آخر • النظرية الاولى وترجع الى هيجنز (Huygens) وفيها يفترض وجود الاثير حيث تحدث به اجهادات مرنة تتسبب فى التوتر الموجى للضوء • هذا التوتر الموجى ينشأ عنه اهتزازات تنتقل فى الاثير فى كل الاتجاهات مثل التموجات الصوتية • أما النظرية الثانية فترجع الى نيوتن (Newton) وتعتبر أن الضوء ما هو الا جسيمات تتحرك فى خطوط مستقيمة • وقد استمر الاخذ بنظرية

نيوتن حتى القرن التاسع عشر عندما لم تستطع هذه النظرية أن تفسر ظواهر التداخل والتناثر والتي كانت معروفة منذ القرن الثامن عشر وكذلك لم تستطع تفسير أن سرعة الضوء في الماء أصغر من سرعته في الفراغ • لم تواجه النظرية الموجية أى صعوبة الا فى تحديد طبيعة مادة الاثير نفسها وكيفية تذبذبها المرن • وبالرغم من ذلك فقد قفزت النظرية الموجية قفزة هائلة عندما ظهرت نظرية ماكسويل لطبيعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية حيث برهنت أن التردد الزمنى الدورى للمجالات الكهربائية والمغناطيسية ينتشر بسرعة مقدارها 2.998×10^8 متر لكل ثانية وعلى ذلك فالت موجات الضوئية ما هي الا موجات كهرومغناطيسية تنتقل معها الطاقة فى نفس الاتجاه وترتبط بسرعة الضوء c بطول الموجة λ والتردد f بالعلاقة الاتية

$$c = \lambda f \quad (1 - 1)$$

حيث التردد f هو عدد الموجات التى تمر بمنطقة معينة ثابتة فى الثانية الواحدة • ولايتغير التردد بتغير طبيعة الوسط الذى ينتشر خلاله الضوء • فنجد أن أى تغير فى سرعة الضوء فيه يصاحبه تغير فى طول الموجة λ بحيث يظل التردد ثابتا • ويلاحظ أنه بالرغم من ثبات التردد الا أن التجارب العملية على الضوء تحبذ قياس طول الموجة وذلك عند اجراء التحليل الطيفى فى الاوساط المختلفة •

3.1 الطبيعة الكمية للضوء :

لم تستطع النظرية الموجية للضوء تفسير الاشعاع الحرارى المنبعث من جسم ساخن وكيفية توزيع الطيف الترددى له • وبناء عليه تمكن بلانك (Planck) من وضع نظرية تنص على أن الضوء ما هو الا كمات مميزة من الطاقة وأن هذه الكمات ليست متساوية بالنسبة للجسام المشعة المختلفة ولكنها تتناسب طرديا مع التردد ν .

الطاقة الضوئية فى كل كمة هي

$$E = h \nu \quad (2 - 1)$$

حيث h هو ثابت بلانك ويعطى بالمقدار 6.626×10^{-34} جول ثانية •

وقد سميت هذه الكمات من الطاقة بالفوتونات • وتمكنت نظرية بلانك الكمية من تفسير عديد من الظواهر التى منها الظاهرة الفوتوكهربية وبعض الظواهر الكيميائية والحيوية الضوئية • والفوتونات تعامل معاملة الاجسام حيث تعرف كتلة الفوتون من المعادلة •

$$(3 - 1) \quad mc^2 = h \nu$$

$$(4 - 1) \quad m = h \nu / c^2$$

وبناء على ما تقدم يمكن اعتبار أن نظرية بلانك لانتشار الضوء هى نظرية جسيمية جديدة لطبيعة انتشار الضوء وخواصه ومبنية أساسا على النظرية الموجية • وقد استطاعت هذه النظرية تفسير كثير من الظواهر فى طبيعة البصريات والمرئيات مثل التداخل والاستقطاب • ومنذ ذلك الحين أمكن تفسير كل الظواهر الضوئية باستخدام النظريات الموجية فى بعض الاحيان والنظرية الكمية فى أحيان أخرى •

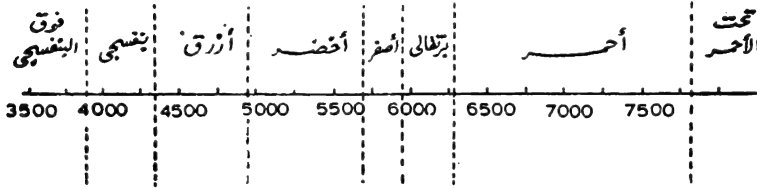
4.1 المدى المرئى من الطيف الكهرومغناطيسى

يقع مدى التردد المرئى فى الطيف الترددى الكهرومغناطيسى حيث نبدأ من الاشعة دون الحمراء بطول موجى ملليمتر واحد حتى 0.78 ميكرومتر يليه الاشعاع المرئى بطول موجى من 0.78 ميكرومتر حتى 0.38 ميكرومتر ويلى ذلك الاشعاع ما فوق البنفسجى بطول موجى من 0.38 ميكرومتر حتى 0.01 ميكرومتر • ويطلق اسم المدى البصرى على كل المدى الموجى من ملليمتر واحد حتى 0.01 ميكرومتر وذلك بسبب تشابه طرق توليد وتحويل هذه الموجات عمليا • ويحتوى هذا المدى على خمسة عشر ثمانيا (Octave) والثمانى الواحد هو مدى ترددى نسبة أعلى تردد له الى أقل تردد كنسبة 2 : 1 ويلاحظ أن المدى المرئى يحتوى على ثمانى واحد فقط • ويحتل الاشعاع دون الاحمر حوالى عشرة ثمانيات وفيه تتراوح طاقة الفوتون بين 2×10^{-22} جول كحد أدنى و 2.5×10^{-19} جول كحد أقصى ويمكن اكتشاف وجود الاشعة دون الحمراء عن طريق تأثيرها الحرارى •

وتستخدم الاشعة دون الحمراء للتجفيف والتسخين وفى التكتيف الصورى الذى يمكن الانسان من رؤية الشئ فى ضوء خافت جدا وذلك بتحويل الاشعة

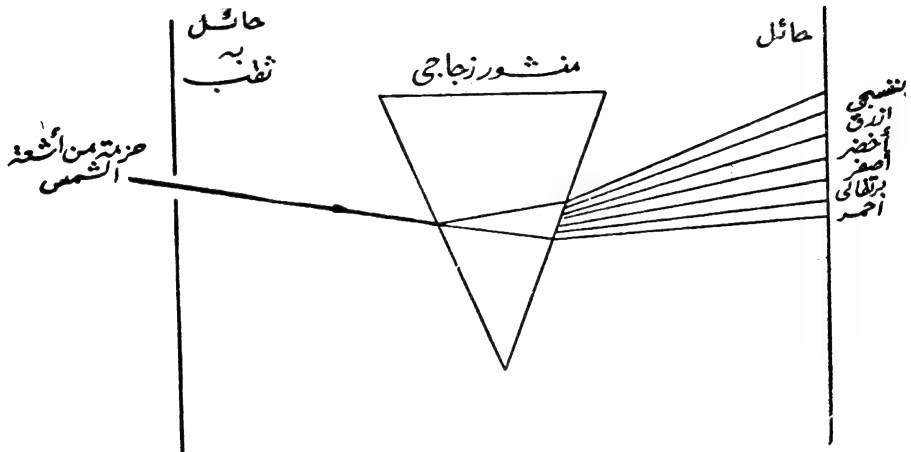
دون الحمراء المشعة منه الى أشعة مرئية • أما الاشعة مافوق البنفسجية فطاققتها أكبر من طاقة الاشعة دون الحمراء أو الاشعة المرئية نظرا لارتفاع تردددها • وقد لوحظ أن كل جسم ذات درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق له اشعاع وعلى ذلك هناك تبادل اشعاع بين الاجسام المختلفة المتاخمة لبعضها •

وينقسم المدى المرئي للضوء الى ستة مناطق أو أقسام شكل (1 - 1) كل منها له تأثير ذات لون على عين الانسان :



3800 — 4360	A°	(violet)	بنفسجي
4360 — 4950		(blue)	أزرق
4950 — 5660		(green)	أخضر
5660 — 5890		(yellow)	أصفر
5890 — 6270		(orange)	برتقالي
6270 — 7800		(red)	أحمر

شكل 1 - 1 المدى المرئي في الطيف الكهرومغناطيسي



شكل 1 - 2 تحليل الضوء بواسطة منشور زجاجي

ويلاحظ أن اللون الاحمر له أكبر مدى ترددى وأن أصغر مدى هو اللون الاصفر ويمكن مشاهدة هذه الالوان (وهي معروفة بالوان الطيف المرئى) بوضع منشور زجاجى فى مسار حزمة ضوئية من أشعة الشمس كما هو مبين بشكل (2 — 1) .

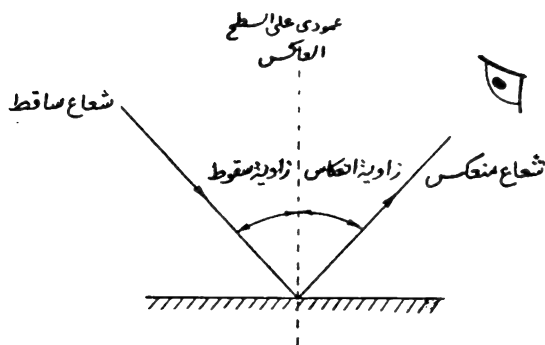
5.1 الخواص الضوئية للمواد

أ) الانعكاس

الانعكاس هو ارتداد الاشعاع بواسطة سطح بدون أى تغيير فى تردد الموجات • وعندما ينعكس الضوء نجد أن نسبة منه قد فقدت عن طريق امتصاص السطح له • وتسمى نسبة الفيض الضوئى المنعكس الى الفيض الكلى الساقط بالانعكاسية (reflectance) وقد لوحظ عمليا أنه عند سقوط الضوء عموديا على لوح من الزجاج الابيض الشفاف ينعكس جزء منه على السطح العلوى لهذا اللوح وجزء على السطح السفلى وتبلغ نسبة الضوء المنعكس من هذين السطحين حوالى 4% من الضوء الساقط • وتزداد هذه النسبة بزيادة زاوية السقوط على اللوح •

ب) الانعكاس المنتظم من سطح

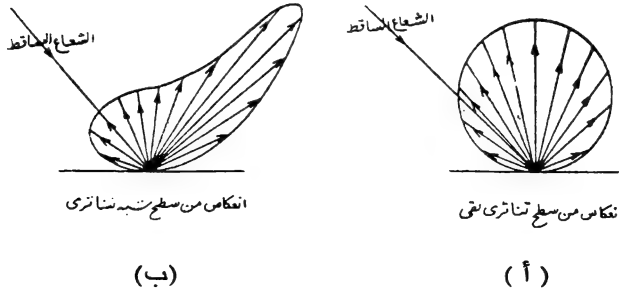
يتم هذا النوع من الانعكاس على الاسطح اللامعة حيث يكون كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح من نقطة الانعكاس فى مستوى واحد • وزاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس كما هو مبين فى الشكل (1 — 3) • وتعطى الاشعة المنعكسة صورة للشيء المنعكس على هذا السطح ويسمى السطح ذات الخاصية التى ذكرناها بالمرآة • والمواد التى لها هذه الخاصية هى الالومنيوم ، الكروم ، الذهب ، الفضة والزجاج أو البلاستيك المفضى •



شكل 1 — 3 انعكاس منتظم من سطح

ج) الانعكاس الغير منتظم

فى هذه الحالة تكون الاسطح خشنة أو مدهونة بجزئيات عاكسة مثل الاسطح البلورية وفى هذه الانواع من الاسطح يعمل كل جزء من هذه الجزئيات عمل مرآة منفصلة وتكون المرايا العديدة التى يتكون منها السطح واقعة فى مستويات ذات ميول مختلفة عن بعضها مما يؤدى الى وجود اتجاهات عديدة للاشعة المنعكسة كما هو مبين فى شكل (1 - 4 أ) • ومن أمثلة هذه المواد الورق الابيض والجليد وأسقف الجبس • وتستخدم هذه المواد أو بعضها فى صناعة العواكس فى الفوانيس التى لها نماذج ضيائية ذات زوايا كبيرة ويقال أن الانعكاس فى هذه الحالة هو انعكاسا تناثرىا نقياً •



شكل 1 - 4 (أ) انعكاس من سطح تناثرى نقي
(ب) انعكاس من سطح تناثرى شبه نقي

د) الانعكاس المختلط

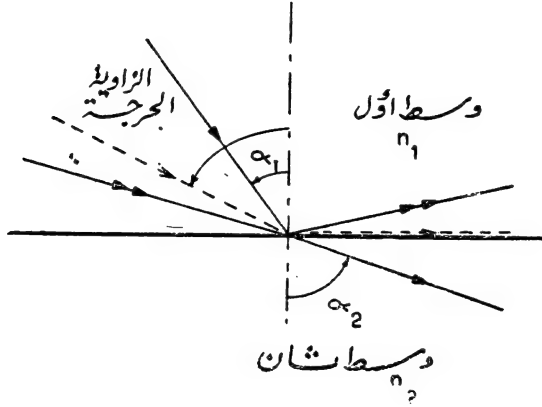
فى هذه الحالة يكون جزء من الطاقة الضوئية المنعكسة منتظماً والجزء الآخر غير منتظم مثال ذلك اذا غطينا مادة انعكاس غير منتظم بطبقة من الورنيش فان السطح الناتج يعمل كسطح عاكس منتظم للاشعة الساقطة بزوايا كبيرة وسطح غير منتظم للاشعة الساقطة بزوايا صغيرة (أنظر شكل 1 - 4 ب)

هـ) الانعكاس الكلى

الانعكاس الكلى أو ما يعرف فى بعض الاحيان بالانعكاس الداخلى هو نوع خاص من الانعكاس المنتظم ويحدث عند أسطح المواد الشفافة مثل الزجاج والماء والبلاستيك عندما تكون هذه الاسطح لامعة ومصقولة وعندما تكون زاوية سقوط الاشعة أكبر من حد معين يعرف بالزاوية الحرجة • فاذا سقط الشعاع الضوئى بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فانه ينعكس ويرتد للوسط الذى سقط منه كما هو مبين فى شكل (1 - 5)

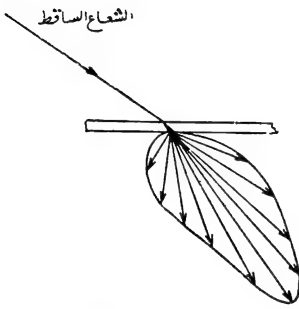
(و) النفاذ

نفاذ الضوء هو مروره من وسط معين بدون تغيير فى تردده ويحدث عند



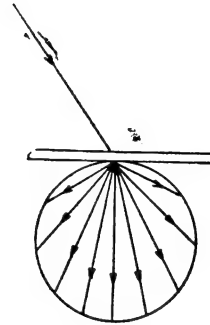
شكل 1 — 5 انكسار الضوء

مرور الضوء فى بعض أنواع الزجاج والبلورات والماء وبعض السوائل ويلاحظ أنه عند نفاذ الضوء من وسط ما يصحبه بعض الفقد • وتسمى النسبة بين كمية الضوء الساقط وكمية الضوء النافذ بمعامل النفاذ للمادة التى يسقط عليها الضوء • وقد يكون النفاذ تناثرى نقى أو شبه نقى كما هو مبين فى شكل (1 — 6 أ ، ب)



نفاذ من سطح ذات وجه شبه تناثرى

(ب)



نفاذ من زجاج مصنف

(أ)

شكل (1 — 6)

(أ) النفاذ من سطح تناثرى نقى ، (ب) النفاذ من سطح شبه تناثرى

ز) الانكسار

عند سقوط الضوء على وسط له سمك معين ونفاذه من الناحية الاخرى نجد أن هناك تغيرا في اتجاه الشعاع الخارج كما هو مبين في الشكل (1 — 5). والسبب في ذلك هو اختلاف سرعة الضوء في هذه المادة عن سرعته في الهواء . ويعرف التغير في اتجاه الاشعاع بالانكسار ويمكن تحديد زوايا الانكسار باستخدام قانون سنل (Snell)

$$(5 - 1) \quad n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

حيث n_2, n_1 هما معامل الانكسار للوسط الاول والثانى على الترتيب α_1 زاوية السقوط و α_2 زاوية الانكسار . وإذا كان الوسط الاول هواء ($n_1 = 1$) تصبح العلاقة السابقة

$$(6 - 1) \quad \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

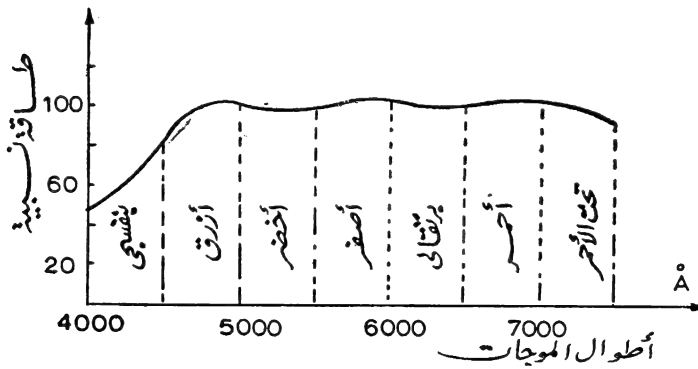
وتستخدم ظاهرة الانكسار في المنشورات والعدسات وفى الآلات البصرية . ومن قانون سنل يتضح أن الشعاع المنكسر يقترب من العمودى على السطح اذا كان $n_2 > n_1$ ويبتعد عنه اذا كان $n_2 < n_1$

6.1 الألوان

تعتبر مسألة تحديد ألوان الاجسام أو ألوان الضوء من المصاييح الملونة من المسائل المعقدة . فهى ليست مسألة فيزيائية فحسب بل تعتمد على حيوية ونفسية الشخص المشاهد . فمن الناحية الفيزيائية يتكون الضوء المرئى من موجات كهرومغناطيسية كما ذكرنا . فاذا تغير تردد هذه الموجات فان احساس العين يتراوح مع ازدياد التردد من الاحمر عند أقل تردد مرئى الى البرتقالى فالاصفر فالاخضر فالبنفسجى عند أعلى تردد مرئى . وعند تجميع هذه الالوان بنسب متساوية تقريبا يبدو الضوء أبيض أو رمادى اللون . وتحتوى المصادر الطبيعية للاشعاع مثل الشمس وبعض المصادر الصناعية مثل فتيلة المصابيح المتوهج على مركبات لها ترددات ضوئية كثيرة . فنجد أن الاشعاع الضوئى الصادر منها له مدى ترددى مستمر يحتوى كل الترددات المرئية . ويبين شكل (1 — 7) الطيف الترددى الناتج من أشعة الشمس كدالة من أطوال الموجات . وكان نيوتن أول من لاحظ أن الضوء الابيض العادى هو عبارة عن خليط من الالوان وأن الاجسام تظهر بالوان مختلفة لانها تعكس بعض أطوال موجات الضوء الساقط عليها أكثر من غيرها . فمثلا عند سقوط أشعة الشمس على جسم

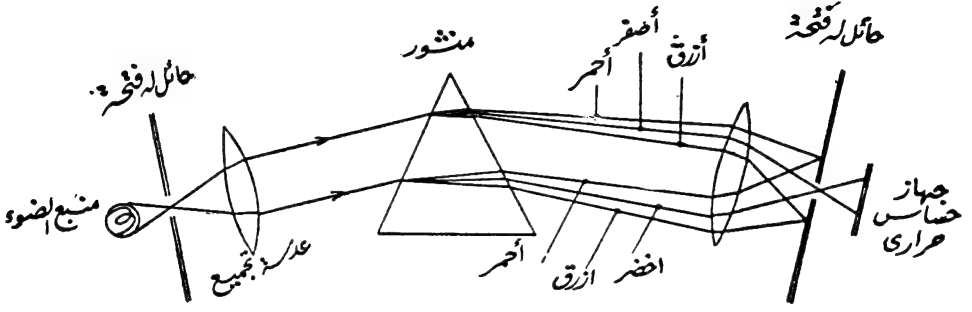
أزرق فانه يمتص موجات جميع الالوان الساقطة عليه عدا اللون الازرق الذى ينعكس منه ليسقط على شبكية العين فتسبب الاحساس باللون الازرق وهكذا •

ومنه نستنتج أن الجسم لا يرى بلونه الحقيقى الا اذا أضىء بنفس هذا اللون أو أضىء بضوء أبيض عادى • أى أن لون الجسم يعتمد على كيفية انعكاس الضوء الساقط عليه من حيث أطوال موجات هذا الضوء •



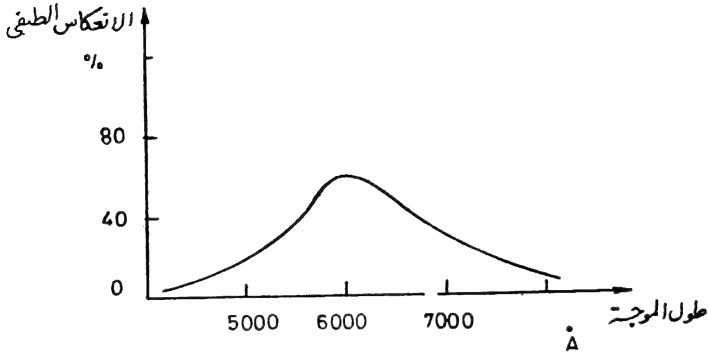
شكل 1 — 7 التردد الطيفى لضوء الشمس

ولقياس الطاقة الضوئية للموجات فى مدى ترددى ضيق يستخدم مايسمى جهاز الاسبكتروفوتومتر (Spectrophotometer) • فى هذا الجهاز لا يزيـد المـدى المـوجى المـقاس عن مائة أنجستروم ويمكن أن يصل الى عشرة انجستروم فى بعض الحالات • ويبين الشكل (1 — 8) رسما تخطيطيا لهذا الجهاز • يؤخذ شعاع من المنبع الضوئى باستخدام حائل له فتحة مناسبة ثم يجمع باستخدام عدسة تجميع ويمرر فى منشور مناسب يليه عدسة تجميع أخرى ثم حائل به فتحة • ويمكن ضبط مكان هذه الفتحة وشكلها بحيث تمر منها كمية من الضوء ذات مدى موجى معين فقط ويوضع خلف هذه الفتحة جهاز حساس مثل البولومتر لتعيين مقدار الطاقة الساقطة عليه فى المدى الموجى المختار ثم يزاح مكان الفتحة للسماح بمرور أطوال موجات أخرى وتكرر العملية ثم ترسم العلاقة بين الطاقة المقاسة وأطوال الموجات للحصول على الطيف الضوئى للمنـبع تحت الاختبار • ويمكن استخدام جهاز الاسبكتروفوتومتر لتحديد لون جسم معين وذلك باستخدام منبع ضوء قياسي وأخذ حزمة من فتحة الحائل الثانى ثم تقسم هذه الحزمة الى حزمتين تسقط احدهما على عينة من الجسم المراد معرفة لونه



شكل 1 - 8 جهاز السبكتروفوتومتر

وتسقط الاخرى على سطح أبيض قياسي له القدرة على عكس كل الاشعة الساقطة عليه . وتحدد نسبة امان السطحين باستخدام خلية ضوئية تعمل فى المدى الموجى تحت الاختبار ثم تكرر التجربة لاطوال الموجات الاخرى . ويعطى شكل (1 - 9) نتائج احدى هذه التجارب ومنه يتضح أنه اذا أضيئت هذه العينة باللون الابيض فان اللون الغالب الذى سيظهر يقع فى المنطقة التى لها أعلى استجابة وما حولها أى أن هذا الجسم يكون برتقاليا فى الغالب .



شكل 1 - 9 التردد الطيفي لعينة

ويلاحظ من هذه التجربة أن لون الجسم أمكن تحديده بشرط استخدام طيف ترددي مستمر أو استخدام اللون الابيض العادى ذات الاطوال المستمرة للموجات على مدى التردد المرئى .

7.1 التكافؤ الضوئي والطبيعة الثلاثية اللون للرؤية

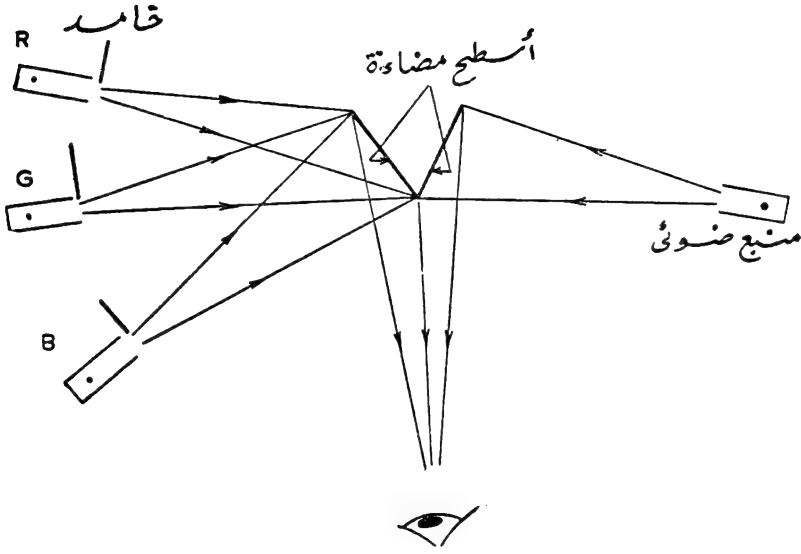
يعتمد لون جسم ما على التوزيع الطيفي للفيض الضوئي المنعكس من هذا الجسم . ويلاحظ أن هناك توزيعات كثيرة لهذا الفيض المنعكس تعطى نفس احساس اللون لهذا الجسم فى العين . ويمكن توضيح هذه النقطة بالمقارنة مع احساس اذن الانسان بالصوت . فبينما تحلل أذن الانسان الصوت بمستويات الضغط لكل تردد فى هذا الصوت نجد أن عين الانسان يمكن أن تكشف جميع الالوان باستخدام خليط مكون من نسب مختلفة من ثلاثة ألوان فقط وهذا ماحدى بالانسان لاختراع التلفزيون الملون والذي يستخدم خليط من ثلاثة ألوان رئيسية فقط . أى أن هناك خاصية لعين الانسان تسمى الطبيعة الثلاثية الالوان للرؤية .

ولتحديد لون جسم ما يستخدم ما يسمى بجهاز الكولوريمتر الثلاثى الاثارة (tristimulus colorimeter) وهو جهاز تقسم مجال الرؤية فيه الى قسمين بحيث يمكن اضاءة الجسم باستخدام ضوء مكون من خليط من أطوال الموجات فى أحد الاقسام ويستخدم الجسم الاخر للمقارنة . يبين شكل (1 — 10) مقارنة بين منبع ضوئى والثلاثة ألوان الاولى وهى الاحمر (R) والاخضر (G) والازرق (B) وقد سميت هذه الالوان بالالوان الاولى لانه لا يمكن الحصول على احداها من خليط من اللونين الاخرين . وقد تم اختيار هذه الالوان الاولى بحيث يقع احداها قرب بداية المدى المرئى (الازرق) والثانى فى الوسط تقريبا (الاخضر) والثالث قرب نهاية المدى المرئى (الاحمر) . ويمكن التحكم فى نسبة الخلط بين هذه الالوان الثلاثية باستخدام خواص معايرة . وتتم عملية المقارنة بتغيير كمية الخمد على كل لون حتى نلاحظ أن وجهى شاشتى الملاحظة أصبحتا ذات لون واحد .

ويمكن وصف اللون المنبعث من منبع ضوئى بالمعادلة الاتية :

$$C = r(R) + g(G) + b(B) \quad (7-1)$$

حيث (r, g, b) هى ثلاثة عوامل تعطى كمية كل لون من الالوان الثلاثة R, G, B على التوالى . ويلاحظ أنه اذا تطابق اللونان فى تجربتين متتاليتين باستخدام نفس النبع الضوئى تحت الاختبار فان العوامل الثلاثة (r, g, b)

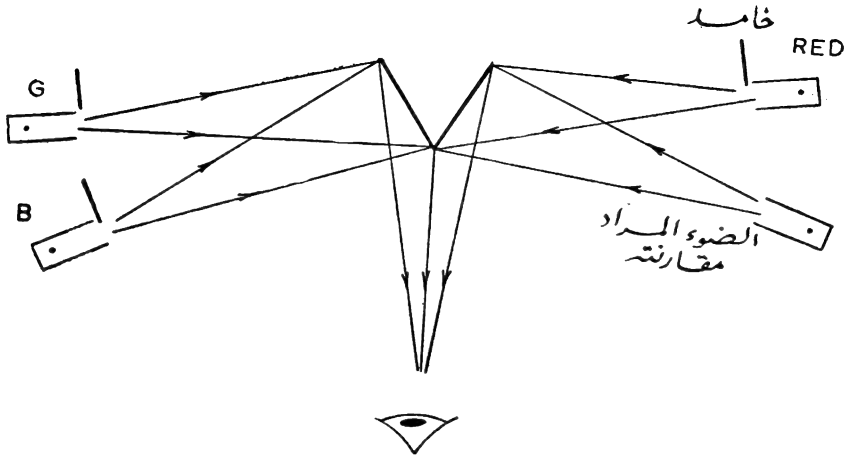


شكل 1 — 10 مقارنة منبع ضوئي

تظل لها نفس القيم في التجريبتين • وهذا يدل على أن هناك تطابقا واحدا فقط طالما استخدمنا نفس الألوان الأولية في عملية المقارنة • وقد وجد أنه في بعض الأحيان لا يمكن التوصل إلى التطابق بالطريقة المبينة في الشكل (1 — 10) وللحصول على التطابق يجب نقل أحد الألوان الأولية للطرف الآخر كما هو واضح في الشكل (1 — 11) حيث تم ضم الضوء الأحمر إلى الضوء المراد معرفة لونه وعند التطابق تعدل المعادلة السابقة لتكتب كالآتي

$$C + r(R) = g(G) + b(B) \quad (1 - 9)$$

ويمكن القول في هذه الحالة أن لون المنبع قد تطابق بإضافة لون أحمر سنال إلى الطرف الأيسر في شكل (1 — 11) أو أن التطابق حدث بالعوامل $(-r, g, b)$ • فهناك إذن ألوان لا يمكن أن تتطابق مع الاحتفاظ بالمعاملات الثلاثية موجبة معا • وقد استخدمت هيئة القياس العالمية CIE (Commission International de l'Eclairage) الألوان الأولية القياسية التالية في عمليات التطابق



شكل 1 — 11 اضافة لون أحمر سالب فى عملية المقارنة

7000 A°	Red	الاحمر
5461 A°	Green	الاخضر
4358 A°	Blue	الازرق

وجدير بالملاحظة أن التركيب الطيفي للالوان فى الطرف الايمن فى كلا الشكلين (1 - 10, 1 - 11) مخالفا تماما للتركيب الطيفي فى الطرف الايسر لهما ولكن عين الانسان لا تفرق بينهما • فقد لاحظ العلماء أن اللون الناتج من احتراق الصوديوم يطابق (من وجهة نظر عين الانسان) لون برتقالة فى ضوء النهار العادى • وعند قياس الضوء المنتشر من الطبقة السطحية للبرتقالة وجد أنه يحتوى على كل الترددات المرئية تقريبا فى حين أن طيف بخار الصوديوم لا يعطى الا خطين فقط وهما 5896 A° 5890 A°

8.1 تطابق الالوان الطيفية والاعمال الثلاثية للالوان

بالرجوع الى المعادلة (1 - 7) نلاحظ أن وحدات (R, G, B) يمكن أن تكون وات لكل وات واحد من اللون (C) الناتج من خلط هذه الالوان الثلاثة الاولى بكميات تحدد بالعوامل (r, g, b) على التوالى • وهناك تقدير آخر تكون فيه وحدات الالوان الاولى لومن لكل وات من اللون (C) • وقد وجد أن أنسب وحدات هى الوحدات الكولوريمترية وهى تعتبر أن وحدة واحدة من كل الالوان الاولى تستخدم لتطابق لون أبيض معين • فمثلا اذا استخدمنا

10 وات من R و 2 وات من G و 0.3 وات من B لينتج هذا اللون الابيض فيقال أن وحدة واحدة من R هي 10 ووحدة واحدة من G هي 2 ووحدة واحدة من B هي 0.3 وتصبح المعادلة (1 - 7) على الصورة

$$1 (W) = 1 (R) + 1 (G) + 1 (B) \quad (9 - 1)$$

وعند وصف أى لون آخر (C) تكون r هي العدد بالوات من الاحمر مقسوما على 10, g, اعدد بالوات من الاخضر مقسوما على 2, b, العدد بالوات من الازرق مقسوما على 0.3. وتصبح بذلك المعاملات r, g, b هي مجرد أعداد وتسمى بالمعاملات الثلاثية للالوان الاولى .

ويلاحظ ان الارقام (0.3, 2, 10) هي نتيجة معايرة اللون الابيض المعين بواسطة مراقب . وقد تم اتخاذها كسند عند مقارنة أى لون آخر باستخدام خليط من الالوان الاولى . وقد وجد عمليا أن كل مراقب للالوان يجب أن يعطى فرصة لمقارنة لون أبيض معين بالالوان الاولى وتحديد الارقام الثلاثة السابقة أو أرقام قريبة منها حسب احساس العين بعملية التطابق .

9.1 قوانين جراسمان

استطاع جراسمان (H. Grassmann) منذ حوالى قرن وربع وضع دراسة نظرية عن الالوان تنتج عنها القوانين الاربعة الاتية :

القانون الاول :

تستطيع العين أن تميز ثلاثة أنواع من التغيرات أو الفروق وهي النصوص (Luminance) والطول الموجى الغالب (Dominant Wavelength) والنقاء (Purity)

القانون الثانى :

فى حالة خليط من مركبتين ضوئيتين فقط فان التغيير المنتظم للطول الموجى لاحدى المركبتين مع ثبات الطول الموجى للمركبة الثانية يؤدي الى تغيير تدريجى للون الخليط .

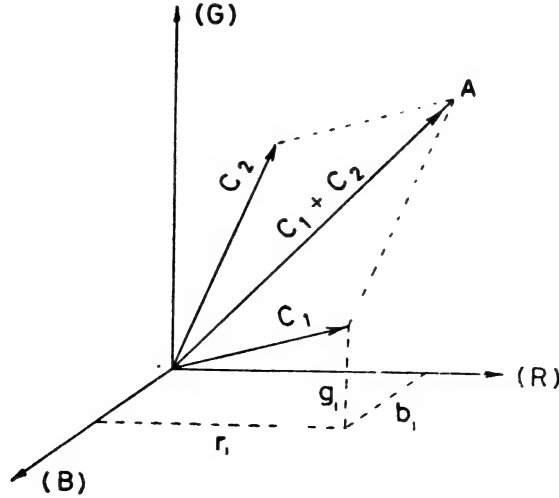
القانون الثالث

إذا خلط الضوء الخارج من منبعين لهما نفس اللون فان الضوء الناتج يكون

له نفس اللون • وبناء على ذلك فانه يمكن جمع المتجهات الثلاثية للالوان (شكل 12 — 1) • فمثلا اذا كان هناك لونان ممثلان بالمعادلتين

$$(10 — 1) \quad C_1 = r_1 (R) + g_1 (G) + b_1 (B)$$

$$(11 — 1) \quad C_2 = r_2 (R) + g_2 (G) + b_2 (B)$$



شكل 12 — 1 : جمع المتجهات الثلاثية للالوان

وخطا معا فان اللون الناتج يكون ممثلا بالعلاقة الاتية

$$C = C_1 + C_2$$

$$(12 — 1) \quad = (r_1 + r_2) (R) + (g_1 + g_2) (G) + (b_1 + b_2) (B)$$

أى أن الالوان الاولية فى كلا من اللونين تضاف معاملاتها للحصول على اللون الجديد •

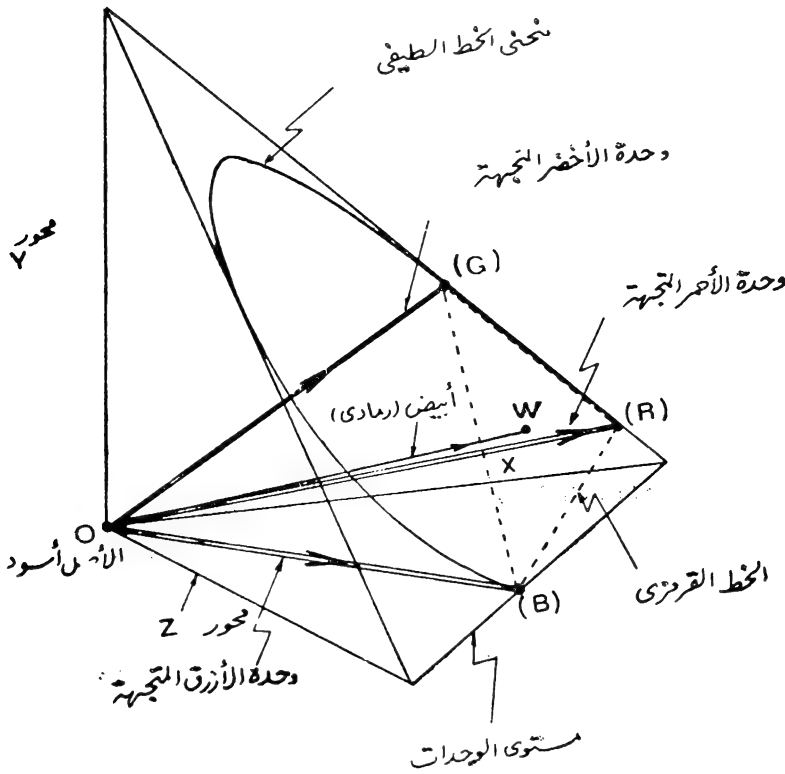
القانون الرابع :

النصوع الكلى للون ما هو المجموع الحسابى لنصوع جميع المركبات الداخلة فى تركيب هذا اللون •

ويلاحظ أن القوانين الاربعة السابقة هى قوانين تجريبية أثبتت التجارب العلمية صحتها فى القياسات الفوتومترية •

10.1 مثلث الالوان الاولية والكروماتيكية

يمكن تمثيل اللون بمتجه ثلاثي أى له ثلاثة مركبات كما ذكرنا وعلى ذلك فإنه يمكن وصف هذا اللون بمتجه ثلاثي الأبعاد وكذلك وصف خليط من لونين كمحصلة متجهين كما هو مبين بشكل (1 — 12) * ومن الواضح أن النقطة A التي تمثل لون معين يمكن تعيينها عن طريق أى عدد من المتجهات بشرط أن تكون محصلتهم المتجه OA ويتم تعيين الالوان المختلفة كنقاط احداثياتها في الفراغ هي (r, g, b) - ويمكن تغيير موقع أى نقطة وبالتالي أى لون معين بتغيير أى من (r, g, b) أو الثلاثة معا أو اثنين منهما فقط *



شكل 1 — 13 متجهات الالوان الفراغية الاولية والكروماتيكية

وقد وجد أنه يمكن تمثيل محاور الالوان بثلاثة خطوط متقاطعة في نقطة واحدة ولا يشترط أن تكون متعامدة ولكن يشترط أن تكون الزوايا بين الخطوط وبعضها متساوية ويعطى الشكل (1 — 13) نموذجا لتمثيل أى لون * في

هذا الشكل كلا من المتجهات R, G, B ممثلة بمتجه طوله الوحدة من نقطة الاصل O وكل وحدة تمثل الاطوال الموجية التالية

$$R \quad 7000 \text{ Å}^0$$

$$G \quad 5461 \text{ Å}^0$$

$$B \quad 4358 \text{ Å}^0$$

وقد اختيرت هذه الوحدات بحيث أن مجموعها يعطى النقطة W وهو لون ناتج عن كميات متساوية من B, G, R .

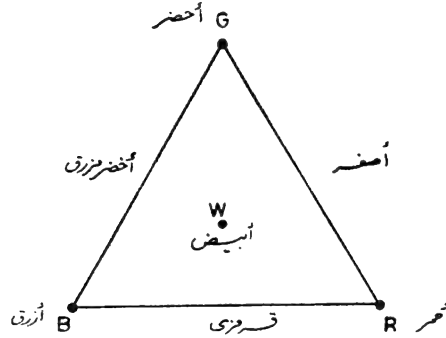
ومن الخصائص الهندسية للشكل (1 — 13) نجد أن أى مستوى عمودى على المتجه الممثل للون الابيض يقطع الوحدات R, G, B فى ثلاثة نقط تمثل رؤوس مثلث متساوى الاضلاع . ويسمى هذا المثلث بمثلث الالوان أو مثلث الوحدة اذا كان يقطع كلا من المحاور الاولى R, G, B فى أطوال مقدار كل منها الوحدة .

ويبين شكل (1 — 13) كذلك نظام احداثيات (X, Y, Z) ويمكن أن يكون هذا النظام عمودى المحاور كما سنذكر فيما بعد .

ويبين الشكل (1 — 14) مثلث الالوان وهو نفسه المثلث ذات الخطوط المتقطعة فى شكل (1 — 13) . فى مثلث الالوان تكون الالوان الناشئة عن خلط اللونين الازرق والاخضر ممثلة بنقط على الخط BG حيث تعتمد كل نقطة على كمية الخلط بين هذين اللونين . ونفس الكلام يقال عن ضلعى المثلث الاخرين GR و RB .

وقد لوحظ أنه عند استخدام المعادلة (1 — 7) قد تظهر قيمة سالبة لاحد المعاملات ويصبح اللون التابع لهذه القيمة لونا سالبا وهذا يحدث عندما يراد الحصول على لون ممثل بنقطة تقع خارج المثلث GRB . وحتى يمكن تلافى هذا الوضع فقد اتفق على استخدام ثلاثة ألوان أولية أخرى . بحيث يمكن الحصول على أى لون آخر منها ممثلا بمعاملات موجبة وقد أطلق على هذه الالوان (X, Y, Z) وهى ألوان تنتمى الى الالوان الاولى بالعلاقات الاتية

$$\begin{aligned}
 (13 - 1) \quad X &= 1.275 (R) - 0.278 (G) + 0.003 (B) \\
 (14 - 1) \quad Y &= -1.74 (R) + 2.768 (G) - 0.028 (B) \\
 (15 - 1) \quad Z &= -0.743 (R) + 0.141 (G) + 1.602 (B)
 \end{aligned}$$



شكل 14 — 1 مثلث الالوان الاولى

وهي تمثل ثلاثة محاور متعامدة في الفراغ وتمر بنقطة الاصل O كما هو واضح بشكل (15 — 1) وعلى ذلك يمكن تمثيل لون معين (C) بالمعادلة الاتية

$$(16 - 1) \quad 1 (C) = x (X) + y (Y) + z (Z)$$

بحيث يكون

$$(17 - 1) \quad x + y + z = 1$$

وقد وجد أنه يمكن تبسيط الشكل الفراغي {13 — 1} الى شكل مستو وذلك بالاستقاط عموديا على المستوى XY فنحصل على مثلث الالوان الكروماتيكية (X, Y) المبين في شكل (15 — 1) وفيه رمزنا لمحور Z بالرمز O • وداخل هذا المثلث تم تحديد كل الالوان وحيدة الموجة ويسمى الخط الواصل بين هذه الالوان بالمسار الطيفي • ويلاحظ أن النقاط ذات الالوان الاولى التي ذكرناها بالمعادلات (15, 14, 13 — 1) تحدد على النحو التالي :

أ) النقطة (y = 0, x = 1) بالتعويض عن هذه القيم في المعادلة (17 — 1) نحصل على z = 0 وبالتالي نحصل من المعادلة (16 — 1) على اللون المناظر

$$(18 - 1) \quad 1 (C) = 1 (X)$$

وتبين المعادلة (13 - 1) أن اللون الغالب هو الاحمر •

(ب) النقطة $(y = 1, x = 0)$ هي اذن

$$(19 - 1) \quad 1 (C) = 1 (Y)$$

ويكون اللون الغالب هو الاخضر •

(ج) النقطة $(y = 0, x = 0)$ يمكن الحصول عليها من المعادلتين (17, 16 - 1)

وهي تعطى

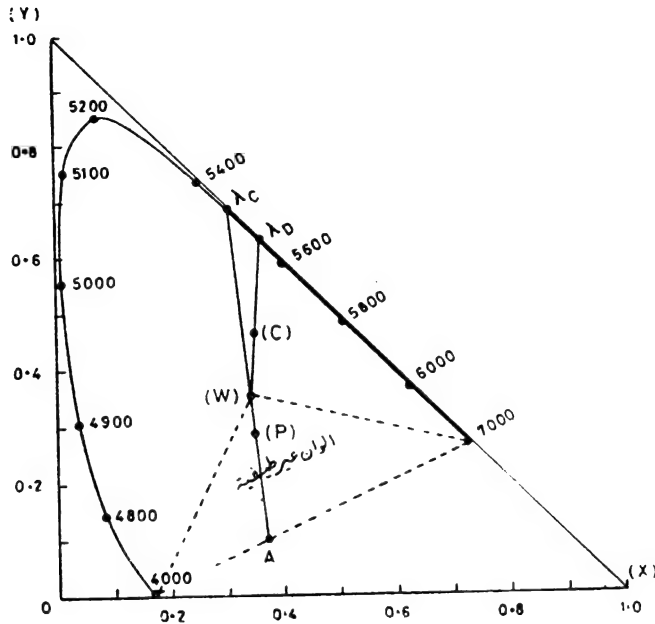
$$(20 - 1) \quad 1 (C) = 1 (Z)$$

وفيه اللون الغالب هو الازرق •

النقط الثلاثة التي ذكرناها تحدد رؤوس مثلث الالوان الكروماتيكي كما

ذكرنا • ويلاحظ أن الالوان X, Y, Z هي ألوان قياسية تخيلية نحصل منها

بمعاملات (x, y, z) موزجة على كل الالوان الاخرى كما ذكرنا •



شكل 1 - 15 مثلث الالوان الكروماتيكية

ويلاحظ أنه إذا رسمنا خطا مستقيما بين أى نقطتين على المسار الطيفى المبين بشكل (1 — 15) فإن أى نقطة تقع على هذا الخط تمثل لون نحصل عليه بخليط مناسب من لونى هاتين النقطتين • وعلى ذلك فالنقط الواقعة داخل المنحنى تمثل ألوان حقيقية يمكن أن نحصل عليها عمليا باستخدام خليط ضوئى من منابع ملونة • والنقط الواقعة خارج المنحنى تمثل ضوء تخيلى لا يمكن الحصول عليه عمليا بخلط مجموعة ألوان مع بعضها وهذا يؤكد أن المحور الأفقى والمحور الرأسى فى شكل (1 — 15) تمثل ألوان تخيلية كما ذكرنا وتقع كلها خارج المنحنى •

وإذا رسمنا خطا مستقيما بين النقطة (W) التى تمثل اللون الابيض الى النقطة (C) التى تمثل لون جسم فإن امتداد هذا الخط يقابل المسار الطيفى عند النقطة التى لها الطول الموجى الغالب λ_D • وهذا بالتالى يعنى أن خليطا مناسباً من اللون الابيض (W) واللون ذات الطول الموجى λ_D ينتج عنه اللون (C) •

ويعرف نقاء اللون (C) على أنه النسبة المئوية بين الأطوال WC الى $W\lambda_D$ ويلاحظ أن اللون الابيض نفسه له درجة نقاء صفر واللون الطيفى الواحد أى الممثل بنقطة على منحنى الخط الطيفى بشكل (1 — 15) له درجة نقاء مقدارها 100 % •

أما بالنسبة للألوان الغير طيفية والواقعة فى المنطقة الارجوانية على الخط المستقيم المتقطع الواصل بين 4000 Å و 7000 Å فهى تعامل معاملة خاصة وهذا راجع الى أن المسار الطيفى غير مغلق • يمر الخط الواصل من اللون المراد تحديده (والمعين بالنقطة (P) مثلاً) والنقطة (W) حتى يقطع المنحنى الطيفى عند أى نقطة ولتكن λ_C مثلاً (شكل 1 — 15) ويسمى الطول الموجى λ_C بطول الموجة المتمم ويوصف اللون (P) باللون المتمم وكذلك بالمقدار (WP/WA) 100.

وهناك طريقة أخرى لتعيين لون جسم ما وهى تعتمد على ما يسمى بلوحة المقارنة أو طريقة مونسل (Munsell) وهذه الطريقة تقتصر فقط على مقارنة ألوان الاجسام ولا يمكن استخدامها فى مقارنة ألوان المنابع الكهربائية مثل الطريقة السابقة •

11.1 درجة حرارة الالوان ودليل أمانة نقل الالوان

عندما ترتفع درجة حرارة جسم أسود تنبعث منه فى بادىء الامر حرارة اشعاعية غير مرئية • ومع ازدياد درجة الحرارة يبدأ الجسم فى التوهج بلون أحمر عاتم ثم بلون أحمر قانى ثم يمر بمجموعة من الالوان حتى يشع ضوءا أبيض (الحرارة البيضاء) ثم ضوءا أزرق • ويبين الجدول التالى العلاقة بين لون الجسم ودرجة حرارته :

8000 — 900 °K	أحمر
3000	أصفر
5000	أبيض
8000 — 10,000	أزرق باهت
60,000 — 100,000	أزرق سماوى ناصع

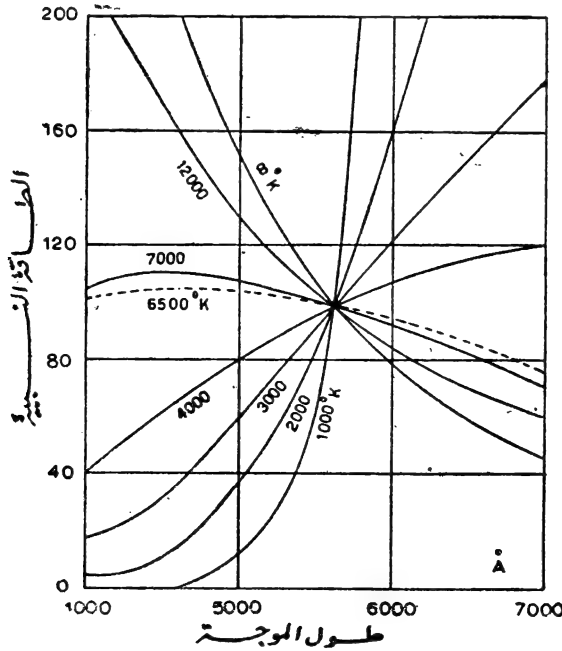
وأى منبع للضوء لونه يطابق لون الجسم الاسود المشع عند درجة حرارة معينة يمكن أن يتصف بهذه الدرجة • فمثلا يمكن أن نصف ضوء مصباح فلورى بأن درجة حرارته 4000 °K • ولكن يجب أن نوضح هنا أن هذا التطابق ليس الا تطابقا ظاهريا بمعنى أنه ليس من الضرورى أن يكون التوزيع الطيفى للطاقة لضوء المذنب ولضوء الجسم الاسود متساويين عند درجة حرارة تطابق اللونين • والمصادر التى لها توزيع طيفى للطاقة مشابه للتوزيع الطيفى لجسم أسود مشع عند درجة حرارة معينة تسمى مصادر طبيعية للضوء • ويبين الجدول التالى هذه المصادر ودرجات حرارتها :

2000 °K	شمعة أو مصباح زيت
2500 — 3000	مصباح متوهج
4000	ضوء الشمس عند الاصيل
5000	ضوء الشمس عند الظهر
6500	سواء بها غيوم
10,000	سواء زرقاء

واذا كان لدينا منابع مختلفة للضوء لها نفس درجة حرارة اللون ولكن لها توزيعا طيفيا مختلفا ، فان لون أى جسم قد يبدو مختلفا تماما عند مشاهدته فى ضوء كل منبع على حده •

فمثلا نجد أن جسما له لون أحمر وأزرق وأصفر فى ضوء النهار الطبيعى

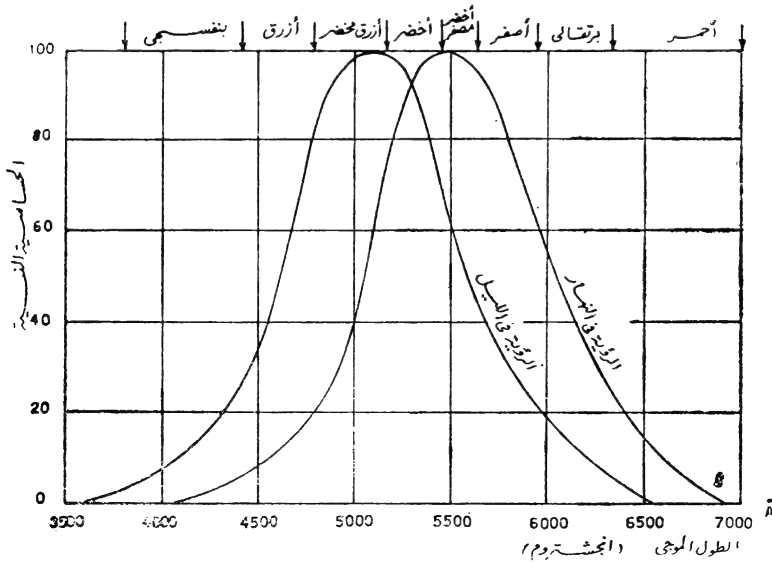
يبدو بألوان مختلفة تماما اذا شوهد فى الضوء الاصفر لمصباح الصوديوم أو فى الضوء الاصفر لمصباح فلورى له نفس درجة حرارة مصباح الصوديوم . وفى الحالة الاولى تبدو جميع ألوان الجسم كدرجات مختلفة من اللون الرمادى وفى الحالة الثانية نجد تمييزا أكبر بين الالوان ولكنها تختلف اختلافا كبيرا عن الالوان الطبيعية . والسبب فى ذلك هو أن اللون الظاهرى لاي سطح يعتمد أساسا على التركيب الطيفى للضوء الساقط على السطح وعلى مدى انعكاس مركباته المختلفة .



شكل 1 — 16 الطاقة النسبية للإشعاع من جسم أسود عند درجات حرارة مختلفة .

يتضح مما سبق أن درجة حرارة اللون لاي مصدر غير طبيعى للضوء غير كاف لوصف مقدرة هذا المصدر لإظهار الالوان الحقيقية للأشياء التى تنار بضوئه ولذلك فقد وضعت اللجنة الدولية CIE معيارا لقياس درجة أمانة المصادر للضوئية لنقل الالوان وذلك بنذالة معامل خاص يعرف بدليل أمانة نقل الالوان . (general colour rendering index — R) ولايجاد قيمة هذا الدليل يتم تحديد الفارق فى اللون عندما تضاء كل عينة من مجموعة مكونة من ثمانى عينات

لها ألوان قياسية محددة أولا بالمنبع المراد تعيينه وثانيا بمنبع قياسي • ومن القيمة المتوسطة لهذه الفروق الثمانية يتم حساب دليل أمانة نقل الألوان لمنبع الاختبار • وفي حالة تطابق جميع القراءات (أى تطابق التوزيع الطيفي لمنبع الاختبار وللمنبع القياسي) تكون قيمة الدليل 100 • وكلما زادت الفروقات بين القراءات كلما قلت قيمة الدليل •



شكل 1 — 17 حساسية العين في المدى الطيفي المرئى

يبين الشكل (1 — 16) التوزيع الطيفي للطاقة المشعة من جسم أسود عند درجات حرارة مختلفة • ويعرف الإشعاع المثالي من جسم أسود بأنه الإشعاع من فتحة صغيرة هي عبارة عن فوهة لفجوة داخل هذا الجسم تكون حوائطها الداخلية عند درجة الحرارة التى يشع عندها هذا الجسم • ويلاحظ أن المحور الرأسى قد نسب الى لون أبيض ينتج عن طاقة متساوية لكل أطوال الموجات المرئية وهو يمثل بخط مستقيم يوازى المحور الأفقى ويمر بالرقم 100 على المحور الرأسى وهو لون افتراضى لا يمكن أن نحصل عليه عمليا ولكنه يستخدم كأساس رياضى لكثير من المعايير القياسية المحددة من هيئة القياس العالمية •

12.1 حساسية العين في المدى الطيفي المرئي :

تختلف استجابة الاعصاب الداخلية للعين للالوان من شخص الى آخر في حدود معينة ولكنها عامة تستطيع تمييز الالوان في المدى الطيفي من 4000 حتى 7000 أنجستروم . ويلاحظ أن حساسية العين ليست ثابتة على هذا المدى ولكنها تتزايد بالتدريج من الصفر في بداية المدى المرئي حتى نهاية عظمى في وسطه ثم تقل تدريجيا على الجانب الآخر منه . وهذا يعنى أنه اذا تم تحويل كمية من الطاقة الكهربائية مثلا الى ألوان في وسط المدى المرئي (الاصفر والاخضر) فان استجابة العين ستكون أكبر بكثير من الاستجابة اذا تم التحويل الى ألوان في أطراف المدى المرئي (الاحمر أو الازرق) ويبين شكل (1 -- 17) استجابة العين للالوان على المدى الطيفي المرئي تتوقف على كمية اضاءة الوسط الموجي من 3500 الى 7000 أنجستروم . ومن هذا الشكل يتضح أن استجابة العين للالوان على المدى الطيفي المرئي تتوقف على كمية اضاءة الوسط الذى تقاس فيه هذه الاستجابة فهي تختلف في الليل عن النهار .

الفصل الثاني

وحدات ونظم الاضاءة

1.2 مقدمة

نقدم في هذا الفصل التعاريف المختلفة للوحدات الضوئية ثم يلي ذلك كيفية استخدام القوانين الاساسية للاضاءة وتطبيقاتها باستخدام أمثلة عددية . ويعطى هذا الفصل كذلك تصميم الاضاءة داخل الغرف والحيزات المختلفة وهذه تشتمل على العوامل الواجب أخذها في الاعتبار عند اجراء عملية التصميم مثل نوع نظام الاضاءة وحوائط الحيز المراد اضاءته ونوعية العمل المراد اجراؤه داخل هذا الحيز . يلي ذلك الخطوات المتبعة لعملية التصميم . وفي نهاية الفصل نقدم بعض الامثلة العددية .

2.2 الوحدات المستخدمة في الاضاءة

(أ) الفيض الضيائي ϕ (Luminous Flux)

يعرف الفيض الضيائي ϕ بأنه كمية الاشعاع المرئي الخارجة من منبع مضىء في الثانية الواحدة ووحدة الفيض الضيائي هي اللومن (lumen) ويرمز لها بالرمز المختصر (lm)

(ب) كمية الضوء Q (Quantity of Light)

تعرف كمية الضوء الخارجة من مصباح معين في فترة زمنية معينة بأنها

$$Q = \phi t \quad \text{lm. sec} \quad (1 - 2)$$

حيث t هي الفترة الزمنية و ϕ هو الفيض الضيائي لهذا المصباح .
في بعض الاحيان تكون وحدات كمية الضوء هي lm. h أى لومن . ساعة .
مثال ذلك اذا كان الفيض الضيائي لمصباح ما هو 1500 لومن فان كمية الضوء التي يعطيها هذا المصباح في ثلاث ساعات هي

$$Q = 1500 \times 3 = 4500 \quad \text{لومن ساعة}$$

(ج) القدرة التأثيرية الضيائية (Luminous Efficacy of a Source)

تعرف القدرة التأثيرية الضيائية لمصباح ما على أنها خارج قسمة الفيض الضيائي الكلي الخارج من المصباح على القدرة الكهربائية الكلية التي يستهلكها هذا المصباح ووحداتها هي لومن/وات • فمثلا إذا كان الفيض الضيائي لمصباح متوهج قدرته 100 وات هو 1000 لومن فإن القدرة التأثيرية الضيائية هي 10 لومن/وات •

(د) الاستضاءة (Illuminance) E

تعرف الاستضاءة عند أى سطح بأنها كمية الفيض الضيائي الساقطة على كل وحدة مساحة من السطح • أى كثافة الفيض عند السطح • فإذا سقطت كمية من الفيض الضيائي مقدارها $d\phi$ لومن على سطح مساحته dS متر مربع فإن استضاءة هذا السطح هي

$$E = d\phi / dS \quad (\text{lux}) \quad \text{لومن/متر}^2 \quad (2-2)$$

وتعرف الوحدة لومن/متر² بالـ «لوكس» (lux)

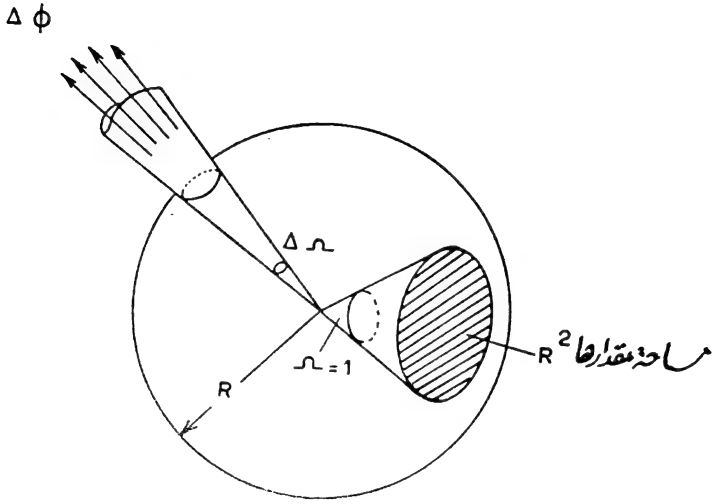
(هـ) الشدة الضيائية (The Luminous Intensity) I

لنفرض أن مصدر الضوء موضوع عند مركز كرة نصف قطرها R • تقاس وحدة الزاوية الفراغية (Solid Angle) عند مركز الكرة بأنها الزاوية الفراغية المقابلة لمساحة قدرها R^2 من سطح الكرة كما هو مبين بشكل (2-1) وعلى ذلك فإن المساحة الكلية للكرة تقابل زاوية فراغية مقدارها 4π عند مركز الكرة • وإذا كان منبع الضوء يشع فيض ضيائي مقداره ϕ لومن وتقع كمية مقدارها $\Delta\phi$ داخل الزاوية الفراغية $\Delta\Omega$ كما فى الشكل فإن هذه الكمية تظل داخل المخروط ذات الزاوية الفراغية $\Delta\Omega$ والذي يقع رأسه عند مركز الكرة •

وتعرف الشدة الضيائية I فى اتجاه محور المخروط بأنها

$$I = \Delta\phi / \Delta\Omega \quad (2-3)$$

ووحداتها لومن لكل وحدة زاوية فراغية التى تسمى كندلا (Candela)



شكل 2 — 1 وحدة الزاوية الصلبة وتعريف الشدة الضيائية

وإذا كانت الزاوية الفراغية صغيرة جداً أى $d\Omega$ ويمر بها كمية فيض $d\Phi$ فإن I فى اتجاه $d\Omega$ هى

$$I = d\Phi / d\Omega \quad (4-2)$$

ومما سبق يتضح أن I لها مقدار واتجاه .

وبصفة عامة يمكن تعريف الشدة الضيائية فى اتجاه معين بأنها كمية الفيض الضيائى الواقعة على عنصر سطح عمودى على هذا الاتجاه مقسومة على للزاوية الصلبة المقابلة لهذا السطح عند المنبع .

(و) النصوص L (Luminance)

تختلف شكل الأشياء أو الأسطح فى مظهرها على حسب كمية الضوء الذى تبعثه أو تعكسه فى اتجاه العين . لذلك يجب أن يكون هناك مقياس للضوء المنعكس أو المنبعث من الأسطح وهذا المقياس هو النصوص . ويعرف النصوص فى اتجاه معين وعند نقطة معينة على أى سطح بأنه كمية الفيض التى تترك (أو تنفذ من) عنصر سطح يحيط بالنقطة وتنتشر فى الاتجاه المحدد بمخروط عنصرى يحتوى على الاتجاه المعين مقسومة على حاصل ضرب الزاوية الصلبة لهذا المخروط ومساحة عنصر السطح مسقطه على المستوى العمودى على الاتجاه المذكور . أى إذا افترضنا أن كمية الفيض الساقطة على عنصر مساحته dS هى $d\Phi$ فإذا انعكس هذا الفيض من السطح فى اتجاهات مختلفة فإن الفيض

الذى يترك السطح فى اتجاه θ مع العمودى عليه هو

$$(5-2) \quad d(d\phi) = d^2\phi$$

وحيث أن مسقط المساحة على اتجاه θ هو $dS \cos \theta$ فيصبح
النصوع عند النقطة P فى هذا الاتجاه هو

$$L(\theta) = d^2\phi / dS d\Omega \cos \theta$$

$$(6-2) \quad = dI / dS \cos \theta \quad \text{كندلا/متر}^2$$

(ز) الانعكاسية (Reflectance)

فى حالة الانعكاس الانتشارى نلاحظ أن زاوية النظر للسطح العاكس ليست ذات أهمية حيث ينتشر الضوء المنعكس فى كل الاتجاهات بمقدار متساو تقريبا . وعلى ذلك يعرف ما يسمى بمعامل انعكاس السطح r فمثلا اذا سقطت كمية من الفيض الضوئى ϕ على سطح مساحته متر مربع واحد فان كمية الاشعاع المنعكس هى $r\phi$

3.2 قانون التوزيع العكسى وقانون لاهبرت (Lambert) للاستضاءة

نفرض أن لدينا منبع ضوء له فيض ضيائى ϕ ومركز عند النقطة P كما هو مبين بالشكل (2-2) ولنفرض أيضا وجود كرتان نصف قطراهما a, b ومركزهما هى النقطة P وان المساحتين المحصورتين بين هاتين الكرتين ومخروط له زاوية رأس صلبة Ω ورأسه عند النقطة P هما S_1, S_2 . وحيث أن الفيض الضيائى داخل المخروط ثابت نجد أن

$$(7-2) \quad \phi_1 = \phi_2 = \phi'$$

حيث

$$(8-2) \quad \phi_1 = S_1 \phi / 4 \pi a^2$$

$$(9-2) \quad \phi_2 = S_2 \phi / 4 \pi b^2$$

ومن تعريف الاستضاءة نجد أنها على السطح S_1 هى

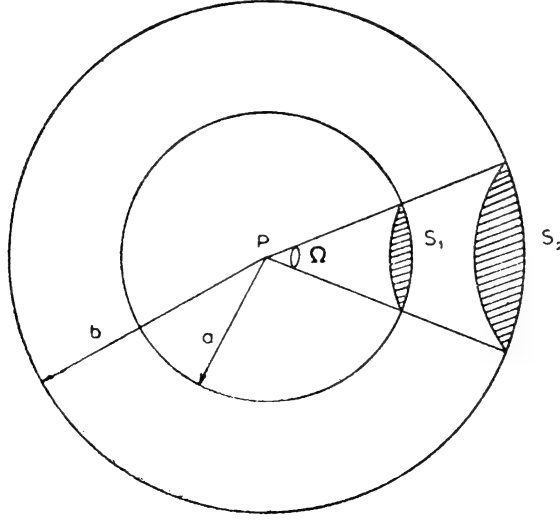
$$(10-2) \quad E_1 = \phi_1 / S_1 = \phi / 4 \pi a^2$$

والاستضاءة على السطح S_2 هي

$$E_2 = \phi / S_2 = \phi / 4 \pi b^2 \quad (11 - 2)$$

أي أن

$$E_1/E_2 = b^2 / a^2 \quad (12 - 2)$$



شكل 2 - 2 قانون التربيع العكسي

ويتضح مما سبق أن الاستضاءة على سطح عمودي على اتجاه الضوء تتناسب عكسياً ومربع المسافة بين المنبع والسطح وهو ما يعرف بقانون التربيع العكسي. وحيث أنه بصفة عامة الزاوية الفراغية المقابلة لسطح مساحته S يقع على كرة نصف قطرها r هي S/r^2 نجد أن

$$\Omega = S_1/a^2 = S_2/b^2 = \dots = S/r^2 \quad (13 - 2)$$

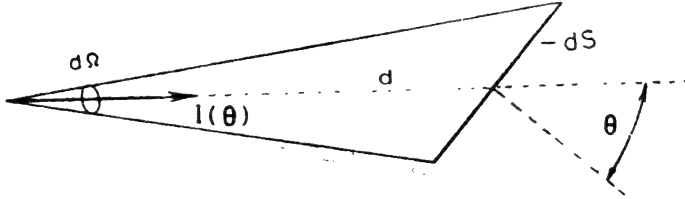
وبناء على ذلك فإنه يمكن إيجاد الاستضاءة على سطح مساحته S ببعد مسافة d من منبع من المعادلة

$$E = \phi' / S = I \Omega / S = I/d^2 \quad \text{لوكس} \quad (14 - 2)$$

ويلاحظ أن قانون التربيع العكسي قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة (منبع نقطي - ويمكن اعتبار المنبع كنقطة إذا كانت المسافة

بينه وبين السطح كبيرة نسبيا) وأن السطح المضاء عمودى على اتجاه الفيض الضيائى • ولكن من الناحية العملية نجد أن الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الاسطح المراد اضاءتها • فاذا كان الضوء الخارج من منبع نقطى يسقط בזاوية θ على عنصر مساحته dS (شكل 2-3) فان

$$(15-2) \quad E = d\phi / dS = I d\Omega / dS$$



شكل 2-3

وحيث أن الزاوية الصلبة المقابلة للسطح dS عند المنبع هي

$$(16-2) \quad d\Omega = dS \cos \theta / d^2$$

نجد أن الاستضاءة على المساحة dS هي

$$(17-2) \quad E = I(\theta) \cos \theta / d^2 \quad \text{أو (لوكس)}$$

حيث $I(\theta)$ هي الشدة الضيائية فى الاتجاه θ و d هو بعد المنبع عن السطح •

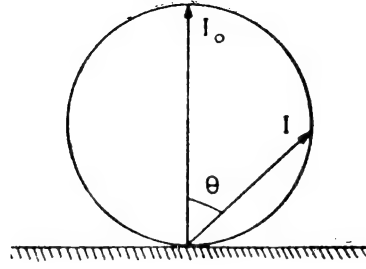
وينص قانون لامبرت لجيب التمام (Lambert's Cosine Law)

على أن الفيض الضيائى لكل وحدة زاوية صلبة والمنبعث من سطح ناشر تام فى اتجاه محدد θ يتناسب وجيب تمام الزاوية θ أى أن

$$(18-2) \quad I = I_0 \cos \theta$$

حيث I_0 هي الشدة الضيائية فى الاتجاه العمودى على السطح (أنظر شكل ر 2-4) • والاسطح التى تخضع لقانون لامبرت لا يعتمد نصوعها على زاوية الرؤية لان

$$(19-2) \quad L = dI / dS \cos \theta = dI_0 / dS$$

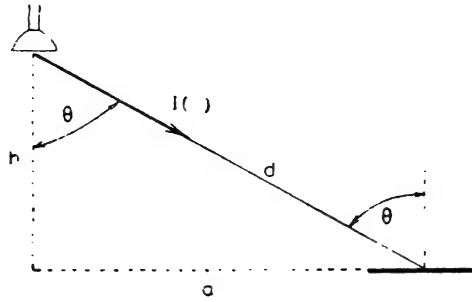


شكل 2 — 4

وهذا يفسر ظهور كرة مضاءة نفاذة وكأنها قرص مضاء عند النظر اليها من أى اتجاه بالرغم من ان اجزاؤها المختلفة لها ميول مختلفة بالنسبة للمشاهد ، وأيضا ظهور الشمس فى صورة قرص مضاء متساوى النصوص •

4.2 الاستضاءة الافقية (Horizontal Illuminance)

(ا) منبع ضوء نقطى (شكل 2 — 5 a)



(a)

شكل (2 — 5 a) الاستضاءة الافقية : منبع نقطى

الاستضاءة عند النقطة P على سطح أفقى هي

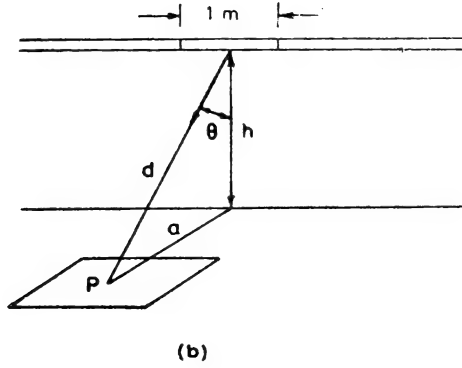
$$E_P = I(\theta) \cos \theta / d^2$$

$$(20 - 2) \quad = I(\theta) \cos^3 \theta / h^2$$

(ب) منبع ضوء طولى انتشارى (شكل 2 — b5)

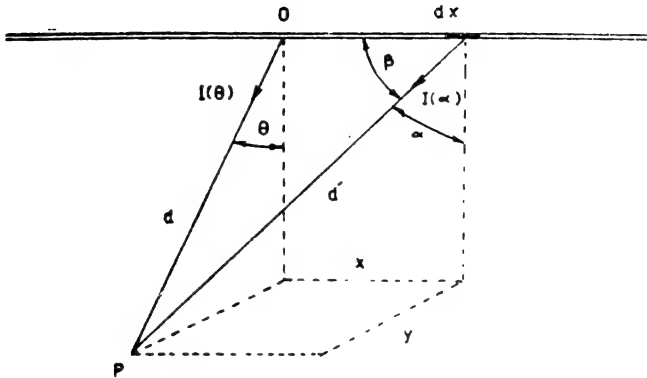
يمكن حساب الاستضاءة عند النقطة P من المعادلة الآتية على أساس أن طول المنبع أكبر بكثير من علوه.

$$E_P = \pi I(\theta) \cos^2 \theta / 2h \quad (21 - 2)$$



شكل 2 — b5 الاستضاءة الافقية : منبع طولى

حيث $I(\theta)$ هي شدة الاضاءة لكل متر من طول المنبع والاستضاءة عند أطراف المنبع هي نصف هذه القيمة



شكل 2 — c5

ويمكن اثبات المعادلة (2 — 21) كالآتي :

افرض أن لدينا منبع انتشارى طوله لا نهائى وأن شدة الاستضاءة هي $I(\theta)$ لكل متر طولى فى الاتجاه العمودى على محور المنبع . الاستضاءة الانقضية عند نقطة P نتيجة لعنصر طوله dx على بعد x من O هي (شكل 2 — c 5 ،

$$dE = I(\alpha) \cos^3 \alpha \, dx / h^2$$

ومن هندسة الشكل نستنتج العلاقات الآتية :

$$\cos \alpha = h/d' ; \quad \cos \theta = h/d ; \quad I(\alpha) = I(\theta) \sin \beta = I(\theta) d/d'$$

$$d'^2 = (x^2 + d^2)$$

والاستضاءة الكلية هي إذا

$$E = 2 I(\theta) h d \int_0^{\infty} dx / (x^2 + d^2)$$

$$= \pi I(\theta) \cos^2 \theta / 2h$$

5.2 الاستضاءة الرأسية (Vertical Illuminance)

(أ) منبع الضوء نقطى (شكل 2 — a 6)

الاستضاءة عند نقطة P على سطح رأسى هي

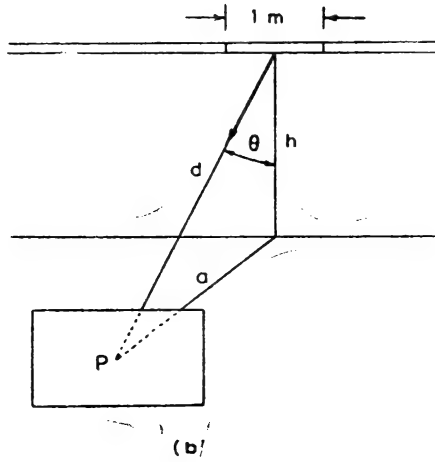
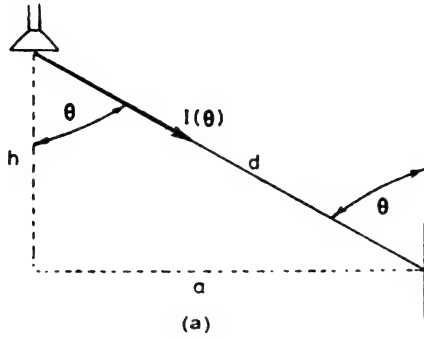
$$E_P = I(\theta) \cos \theta / d_2$$

$$= I(\theta) a/d^2$$

$$(22 — 2) \quad E_P = I(\theta) \cos^2 \theta \sin \theta / h^2$$

حيث

$$\cos \theta = h/d , \sin \theta = a/d$$



شكل 6 - 2

(ب) منبع الضوء طولى انتشارى (شكل 6 - 2 ب)

يمكن حساب الاستضاءة عند النقطة P على أساس أن طول المنبع أكبر بكثير من بعده عن السطح من المعادلة الآتية

$$E_p = \pi I(\theta) \sin \theta \cos \theta / 2h \quad (23 - 2)$$

حيث $I(\theta)$ هي شدة الاستضاءة لكل متر من طول المنبع .

العلاقة بين وحدات الاستضاءة والنسوع :

باستخدام تعريف الاستضاءة عند النقطة P من المعادلة (2 - 15)

نجد أن العلاقة بينها وبين النصوص هي

$$(24 - 2) \quad R = rE = r d\Phi / dS$$

$$= \int_0^{2\pi} L \cos \theta \, d\Omega$$

حيث r هو معامل انعكاس السطح الساقط عليه الفيض الضوئي \cdot وقد أجرينا التكامل على نصف الفراغ الموجود أمام السطح \cdot وإذا كان السطح يخضع لقانون لامبرت الجيبي نجد أن L ثابتة ولا تعتمد على الزاوية وعلى ذلك يكون

$$R = rE = L \int_0^{2\pi} \cos \theta \, d\Omega$$

ولكن $\Omega = 2\pi (1 - \cos \theta)$ وذلك باعتبار أن هناك تماثل اسطوانى حول العمود المقام على السطح \cdot فيكون

$$d\Omega = 2\pi \sin \theta \, d\theta$$

ويتغير مدى التكامل بالنسبة إلى θ من 0 إلى $\pi/2$

$$R = L \int_0^{\pi/2} 2\pi \sin \theta \cos \theta \, d\theta$$

$$= \pi L \left[-\cos 2\theta / 2 \right]_0^{\pi/2}$$

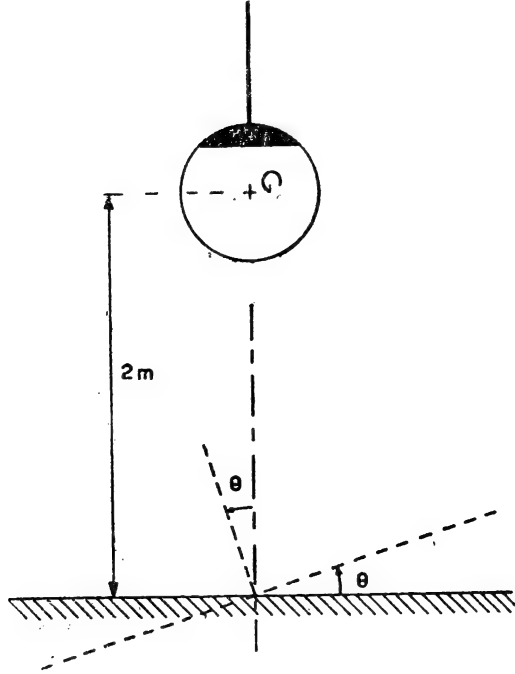
$$(25 - 2) \quad R = \pi L$$

ومنها يتضح أن وحدات L ووحدات الاستضاءة المنعكسة من السطح تختلف بمقدار الثابت π . ووحدات الاستضاءة المنعكسة R هي ابوستيلب (apostilb) ووحدات L كندلا/متر مربع أى أن

$$(\text{apostilb}) = \pi \, (\text{cd/m}^2)$$

مثال ١ :

ناشر ضوئي كروي نصف قطره 10 سم مضاء من الداخل ومعلق فوق منضده على ارتفاع مترين منها (شكل 2 - 7) إذا كانت كمية الفيض الضيائي الخارج من الكرة هي 2000 لومن ومعامل انعكاس المنضدة 50% احسب ما يأتي



شكل 2 - 7

١ - نصوع الكرة

٢ - الاستضاءة عند نقطة P على سطح المنضدة تقع تحت المصباح مباشرة

٣ - الانعكاسية على المنضدة عند النقطة P

الحل :

١ - باعتبار أن كثافة الفيض متساوية في كل الاتجاهات تكون الشدة

الضيائية للكرة هي

$$I = \phi / 4 \pi$$

$$= 2000/4 \pi = 159.15 \quad \text{كندلا}$$

ويكون نصوع الكرة فى اتجاه النقطة P هو

$$L = I / \pi a^2$$

$$= 5066 \quad \text{كندلا/م}^2$$

٢ - الاستضاءة عند نقطة P هى الشدة الضيائية فى اتجاه P مقسومة على مربع بعد نقطة P عن المنبع

$$E_P = I/(2)^2$$

$$= 39.79 \quad \text{لوكس}$$

ويلاحظ أنه اذا كانت المنضدة مائلة بزاوية مقدارها θ مع اتجاه I عند P فإن

$$E_P = (I / (2)^2) / \cos \theta$$

٣ - الانعكاسية على المنضدة عند نقطة P هى

$$R = E_P \cdot r$$

$$= 39.79 \times 0.5$$

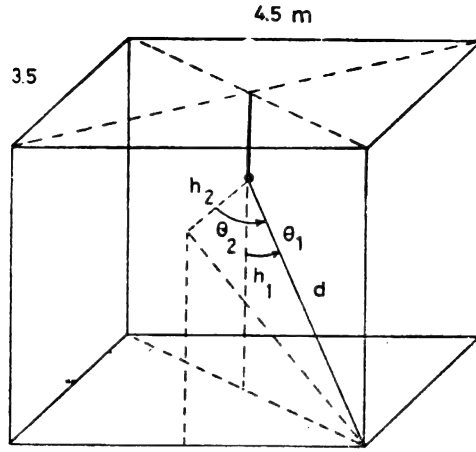
$$= 40 \quad \text{أبوستيلب}$$

مثال ٢

غرفة مساحة أرضيتها 3.5×4.5 مترًا وارتفاعها 3.5 متر تضاء بواسطة مصباح مدلى من السقف لمسافة طولها 0.80 متر . فاذا اعتبرت الشدة الضيائية للمصباح متساوية فى كل الاتجاهات وقيمتها 150 كندلا أوجد الاستضاءة الافقية والرأسية الناتجة من المصباح فقط عند ركن الغرفة المشترك مع الارضية (شكل 2 - 8)

الحل :

الاستضاءة الناتجة من ضوء المصباح فقط (أى الضوء المباشر من المصباح) نحصل عليها من المعادلة (2 - 20) . الاستضاءة الافقية هى



شكل 2 — 8

$$E_1 = I(\theta) \cos^3 \theta_1 / z^2$$

$$\cos \theta_1 = h_1 / d, \quad z = h_1, \quad h_1 = 3.5 - 0.8 = 2.7 \text{ m}$$

$$d = [(3.5/2)^2 + (4.5/2)^2 + (2.7)^2]^{1/2} = 3.926 \text{ m}$$

$$E_1 = 150 (2.7/3.926)^3 / (2.7)^2$$

$$= 6.7$$

لوكس

الاستضاءة الرأسية هي

$$E_2 = I(\theta) \cos^3 \theta_2 / h_2^2$$

$$= 150 (.446)^3 / (1.75)^2$$

$$= 4.34$$

لوكس

مثال ٣

مصباحان متماثلان الشدة الضيائية لكل منهما 200 كندلا ومتساوية في كل الاتجاهات وموضوعان على مسافة أربعة أمتار من بعضهما وعلى ارتفاع أربعة أمتار من سطح الشارع . احسب الاستضاءة على سطح الشارع أسفل أحد المصباحين وعند نقطة في منتصف المسافة بين المصباحين .

الحل

الاستضاءة عند النقطة A شكل (2 — 9) هي

$$E_A = I / h^2 + I \cos^3 \theta / h^2$$

وعند النقطة B

$$E_B = 2 I \cos^3 \phi / h^2$$

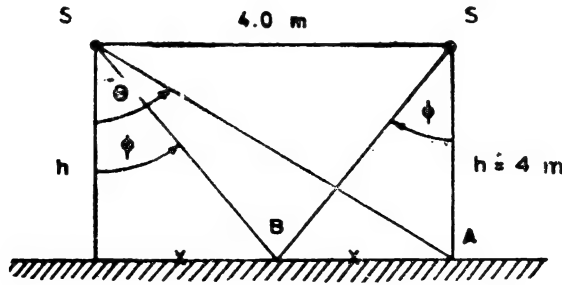
بالتعويض بالقيم المناسبة

$$E_A = 200 / 16 + 200 (4 / \sqrt{20})^3 / 16$$

$$= 21.4 \text{ لوكس}$$

$$E_B = 2 \times 200 (1 / \sqrt{2})^3 / 16$$

$$= 8.8 \text{ لوكس}$$



شكل 2 - 9

مثال ٤ :

وضع مصباح ذات شدة ضيائية 160 كندلا ومتساوية في جميع الاتجاهات أسفل مرآة أفقية وعلى بعد متر واحد منها • اذا وضعت منضدة أفقية على بعد أربعة أمتار من المصباح أوجد الاستضاءة عند نقطة على سطح المنضدة تبعد ثلاثة أمتار من الخط الرأسى الساقط من المصباح على المنضدة • اعتبر أن المرآة تعكس 80% من الضوء الساقط عليها • شكل (2 - 10) .

الحل :

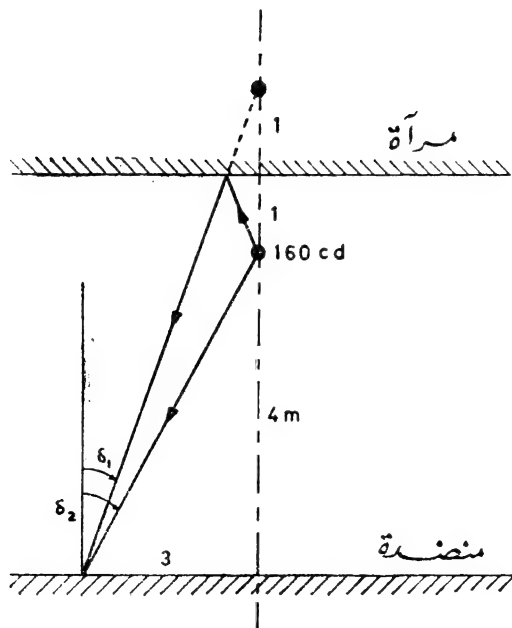
الاضاءة على سطح المنضدة تنتج عن المصباح نفسه كما هو مبين بشكل (2 - 10) وعلى ذلك تكون الاستضاءة الكلية عند النقطة المعينة هي

$$E = E_1 + E_2$$

حيث E_2 هي الاستضاءة المباشرة و E_1 هي الاستضاءة المنعكسة •

$$E_1 = I \cos \delta_1 / d_1^2$$

$$E_2 = I \cos \delta_2 / d_2^2$$



شكل 2 — 10

حيث

$$d_1^2 = 3^2 + 4^2 = 25$$

$$d_2^2 = 3^2 + 6^2 = 45$$

$$\cos \delta_1 = 4/5 = 0.80$$

$$\cos \delta_2 = 6 / \sqrt{45} = 0.89$$

بالتعويض عن هذه القيم مع $I = 160$ نحصل على

$$E = 5.12 + 2.53 = 7.65 \quad \text{لوكس}$$

6.2 منابع ضوئية مرتبة فى صف :

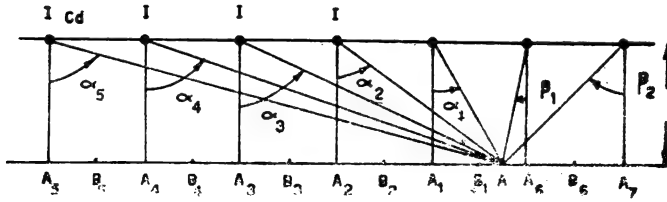
عند تصميم الاضاءة فى ممرات طويلة أو فى شوارع يلزم وضع عدد من المصابيح فى صف أو صفوف • اعتبر مجموعة من المصابيح مرتبة فى صف

أفقى كما هو مبين فى الشكل (2 — 11) • الاستضاءة عند النقطة A على المستوى الأفقى أسفل خط المصابيح هى

$$(26 - 2) \quad E_A = I \alpha_1 \cos^3 \alpha_1 / z^2 + I \alpha_2 \cos^3 \alpha_2 / z^2 + \dots$$

حيث I_{α_i} هى الشدة الاضيائية من المصباح رقم A عند النقطة المعينة وإذا اعتبرنا الكثافة الضوئية لكل المصابيح متساوية فى كل الاتجاهات

$$(27 - 2) \quad E_A = (I/z^2) (\cos^3 \alpha_1 + \cos^3 \alpha_2 + \dots + \cos^3 \beta_1 + \cos^3 \beta_2 + \dots)$$



شكل 2 — 11 منابع ضوئية مرتبة فى صف

والان دعنا نتساءل عن الاماكن التى بها أقصى اضاءة والتى بها أدنى اضاءة على نفس الخط الأفقى • من الواضح أن النقط التى عندها أقصى اضاءة تقع تحت المصابيح مباشرة (A_1, A_2, A_3, \dots) والتى بها أدنى اضاءة تقع عند منتصف المسافة بينهما (B_1, B_2, B_3, \dots) ويكون

$$(28 - 2) \quad E_{A1} = E_{A2} = \dots = (I/z^2) (1 + 2 \cos^3 \alpha_1 + 2 \cos^3 \alpha_2 + \dots)$$

$$(29 - 2) \quad E_{B1} = E_{B2} = \dots (2I/z^2) (\cos^3 \alpha_1 + \cos^3 \alpha_2 + \dots)$$

ويلاحظ أنه فى الحالتين يؤول مقدار $\cos^3 \alpha_i$ الى الصفر سريعاً بحيث انه عملياً يكتفى بحددين أو ثلاثة على الاكثر •

ومن الناحية العملية يراد أن تكون النسبة E_A/E_B أقرب ما يمكن للواحد الصحيح ويمكن تحقيق ذلك بتوزيع مناسب للكثافة الضوئية من المصابيح باستخدام فوانيس مناسبة تعطى كثافة ضوئية صغيرة فى اتجاه أسفل المصباح مباشرة وكبيرة فى الاتجاهات الجانبية •

مثال ٥

ممر طويل مضاء باستخدام مصابيح لها شدة ضيائية متساوية في كل الاتجاهات وقيمتها 250 كندلا لكل منها وموضوعة على أبعاد 3.5 متر من بعضها وعلى ارتفاع 3 متر من سطح الأرض • أوجد القيمة الصغرى للاستضاءة على سطح الأرض في هذا الممر على المحور الطولى الذى يقع أسفل المصابيح مباشرة مع اهمال جميع الانعكاسات في هذه الحالة •

الحل :

في هذا المثال

$$\begin{array}{ll} \cos \alpha_1 = 0.864 & \cos^3 \alpha_1 = 0.64 \\ \cos \alpha_2 = 0.496 & \cos^3 \alpha_2 = 0.12 \\ \cos \alpha_3 = 0.324 & \cos^3 \alpha_3 = 0.034 \\ \cos \alpha_4 = 0.238 & \cos^3 \alpha_4 = 0.013 \\ \cos \alpha_5 = 0.187 & \cos^3 \alpha_5 = 0.0065 \end{array}$$

من الواضح أن قيم $\cos^3 \alpha_i$ تقل بسرعة مع ازدياد قيمة i وتكون القيمة الصغرى للاستضاءة هي

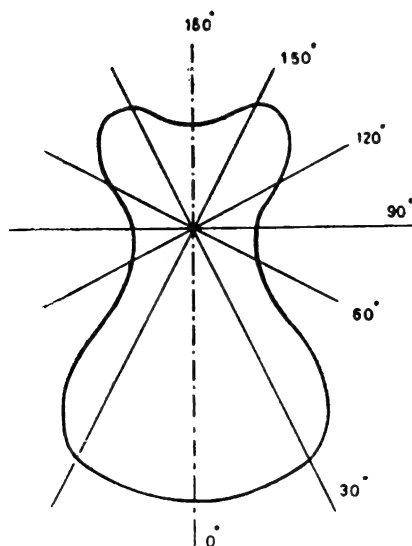
$$E = (2 \times 250/9) (0.64 + 0.12 + 0.034 + 0.013 + 0.0065)$$

$$= 45.2 \text{ لوكس}$$

7.2 المنحنيات القطبية للشدة الاضائية

يوصف توزيع الاضاءة حول مصباح أو ثريا ما بما يعرف بالمنحنيات القطبية الاضائية لها • ويقع المنحنى القطبى فى مستوى يمر بمركز المصباح وينشأ من تعيين متجهات تخرج كلا منها من نقطة واحدة هي مركز المصباح • ويمثل طول كل متجه الشدة الضيائية فى الاتجاه المحدد ويبين شكل (2 — 12) نموذجاً لمنحنى اضاىى قطبى لمصباح ما ويلاحظ أن الخط الرأسى المار بالرقمين $0^\circ, 180^\circ$ يمثل خط تعليق المصباح وأن المنحنى متماثل بالنسبة لهذا الخط •

وفى معظم أنواع المصابيح التى لها محور تماثل مثل مصباح الفتيلة نجد أننا نحصل على نفس هذا المنحنى إذا أخذنا أى مستوى آخر يمر بمحور المصباح .
 وهناك بعض أنواع المصابيح الغير متماثلة حول محور التعليق مثل مصابيح النيون . فى هذه الحالة يختلف المنحنى القطبى الاضائى حسب ميل مستوى هذا المنحنى مع محور المصباح الفلورى . وبناءً على ذلك يعطى المنحنى القطبى للمصابيح الفلورية فى مستويين أساسيين أحدهما يمر بمحور المصباح نفسه والاخر عمودى عليه .



شكل 2 — 12 أنموذج لمنحنى قطبى للشدة الضيائية

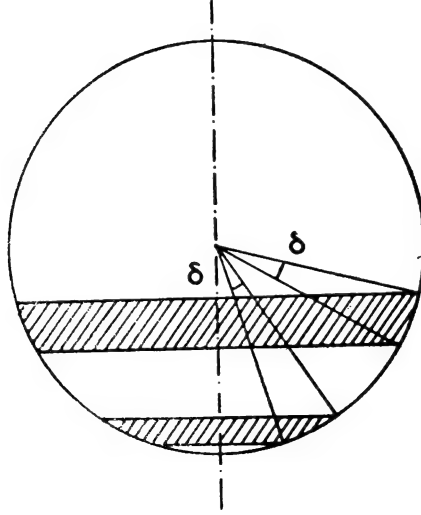
نطاقات الكثافة الضوئية :

من الشكل (2 — 13) نلاحظ أن مساحات سطح الكرة المقابلة لزاويتين عند مركز الكرة غير متساوية فنجد أن المساحة المقابلة لزاوية ما تكبر كلما مالت هذه الزاوية نحو الاتجاه الافقى .

كمية الفيض الضيائى على مساحة حلقة من سطح الكرة زاويتها θ (شكل 2 — 14) ،

$$d\phi = (2\pi r^2 \sin \theta d\theta) I(\theta)/r^2$$

وبناء عليه فان كمية الفيض الضيائي بين الزاويتين θ_1 ، θ_2 هي



شكل 2 — 13 القطاعات المقابلة لمركز كرة

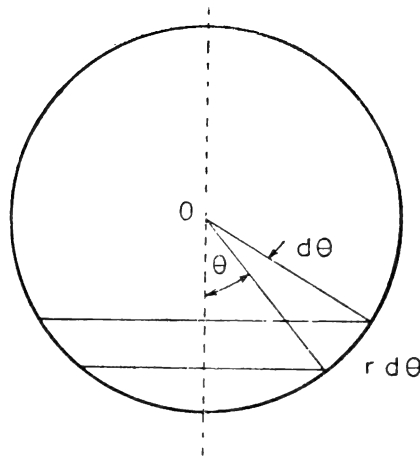
$$\begin{aligned} \int_{\theta_1}^{\theta_2} 2\pi I(\theta) \sin \theta d\theta &= 2\pi \int_{\cos \theta_1}^{\cos \theta_2} I(\theta) d \cos \theta \\ &= 2\pi I(\theta_{12}) (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \end{aligned}$$

حيث $\theta_{12} = (\theta_1 + \theta_2)/2$ و $I(\theta_{12})'$ هي القيمة المتوسطة للشدة الضيائية . وهن الواضح أنه كلما قل الفرق بين الزاويتين θ_1 ، θ_2 كلما كانت النتيجة أكثر دقة . لذلك تكون الزوايا التي يقسم اليها الفراغ صغيرة فيؤخذ الفرق بينهما في حدود عشر درجات فيقسم الفراغ الى ثمانية عشرة منطقة يكون فيها الفيض الضيائي معطى بالعلاقات الاتية :

$$\Phi_1 = 2\pi I_5 (\cos 0^\circ - \cos 10^\circ) = 0.095 I_5$$

حيث I_5 هي شدة الاضاءة عند الزاوية $(10^\circ - 0^\circ)/2$ وتبعاً لذلك فان

$$\Phi_2 = 2\pi I_{15} (\cos 10^\circ - \cos 20^\circ) = 0.284$$



شكل 2 — 14

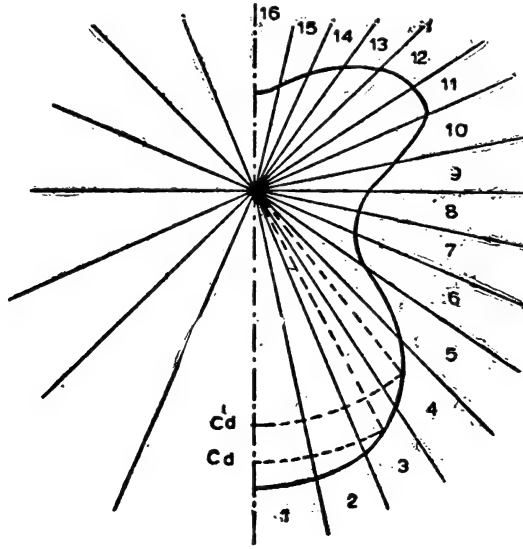
ويمكن كتابة الفيض الضوئى فى المناطق المختلفة كما هو مبين بالجدول التالى

رقم المنطقة	الفيض	رقم المنطقة	الفيض
1	0.095 I_5	10	1.091 I_{95}
2	0.284 I_{15}	11	1.058 I_{105}
3	0.463 I_{25}	12	0.993 I_{115}
4	0.628 I_{35}	13	0.897 I_{125}
5	0.774 I_{45}	14	0.774 I_{135}
6	0.897 I_{55}	15	0.628 I_{145}
7	0.993 I_{65}	16	0.463 I_{155}
8	1.058 I_{75}	17	0.284 I_{165}
9	1.091 I_{85}	18	0.095 I_{175}

ويمكن تقسيم الفراغ الى مناطق عددها أصغر أو أكبر من 18 مثلما هو واضح فى شكل (2 — 15) حيث عدد المناطق 16. وحيث أنه يمكن قياس المنحنيات القطبية الاضائية لاي منبع باستخدام أجهزة الفوتومتر فانه يمكن قياس الفيض الضيائى الكلى Φ الخارج من المنبع بجمع قيم الفيض الضيائى فى النقاطات المختلفة

$$\phi = \sum_{i=1}^{18} \phi_i$$

وبالتالى يمكن حساب القدرة التأثيرية الضيائية لاي مصباح • وذلك بقسمة ϕ على الطاقة الكهربائية التى يستهلكها المصباح •



شكل 2 — 15 نطاقات الشدة الضيائية

مثال 1 :

مصباح معلق على ارتفاع ستة أمتار من أرض مستوية احسب المنحنى القطبى الاضائى للمصباح اذا كانت الاستضاءة 5 لوكس ومتساوية على دائرة على سطح الارض مركزها هو مسقط المصباح ونصف قطرها 20 متر •

الحل :

الاستضاءة الافقية (معادلة 2 — 20) هى

$$E = I(\theta) \cos^3 \theta / h^2 = 5 \quad \text{لوكس}$$

لذلك يكون

$$I(\theta) = 5 h^2 / \cos^3 \theta$$

$$= 180 / \cos^3 \theta \quad 0 \leq \theta \leq \theta_1$$

حيث θ الزاوية بين العمودى من المصباح الى سطح الارض والخط المائل المقاس فى اتجاهه الشدة الضيائية $\theta_1 = 73^\circ$

مثال 2 :

مصباح له منحنى قطبى ضيائى معطى بالمعادلة

$$I(\theta) = I_0 (1 + 0.7 \cos \theta)$$

فاذا كان الفيض الضيائى الخارج من المصباح هو 6300 لومن أحسب النسبة السفلية للفيض الضيائى لهذا المصباح .
يمكن الحصول على قيمة I_0 كالاتى :

$$\Phi = \int_0^\pi I(\theta) 2\pi \sin \theta d\theta$$

$$= 2\pi I_0 \int_0^\pi (1 + 0.7 \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

$$= 4\pi I_0$$

ومنه نستنتج أن

$$I_0 = 6300 / 4\pi = 501.3 \quad \text{كنـدلا}$$

الفيض الضيائى الساقط أسفل المصباح هو

$$\Phi_d = \int_0^{\pi/2} I(\theta) 2\pi \sin \theta d\theta$$

$$\Phi_d = 2 \pi \times 501.3 \int_0^{\pi/2} (1 + 0.7 \cos \theta) \sin \theta \, d\theta$$

$$= 4252 \text{ لومن}$$

النسبة السفلية للفيض الضيائي هي نسبة الفيض أسفل المصباح الى الفيض الكلى الخارج منه وهي فى هذه الحالة

$$4252/6300 = 0.67$$

8.2 الفتومترات (Photometers)

الفتومتر هو جهاز لقياس الطاقة المشعة فى الجزء المرئى من الطيف ويوجد نوعان من الفتومترات : الفتومترات الابصارية (Visual Photometers) والفتومترات الفتوكهربية (Photoelectric Photometers) وتوجد أجهزة مختلفة لكل من هذين النوعين على حسب وظيفة كل جهاز أى على حسب الكمية الضوئية التى يقوم بقياسها . فهناك فتومترات لقياس الشدة الضيائية أو الفيض الضيائي أو الاستضاءة أو النصوص أو توزيع الضوء أو الانعكاسية الخ

والفتومترات الابصارية تعتمد أساسا على القدرة الادراكية للعين حيث تستخدم العين لمقارنة نصوص سطحين أحدهما مضاء بمنبع قياسى والثانى مضاء بالمنبع المراد قياسه ويتم مطابقة نصوص السطحين بتغيير بعد المنبع القياسى من السطح وتحديد النتيجة باستخدام قانون التربيع العكسى .

أما الفتومترات الفتوكهربية فهى لا تعتمد على الادراك العينى ولذلك فهى أدق بكثير من الفتومترات الابصارية وفيها تستخدم خلية كهربية تحول الضوء المساقط عليها الى تيار كهربى بكفاءة فى حدود جزء من عشرة أمبير/سم² لكل لومن . ويكفى مقدار التيار المولد لتشغيل جهاز ميكرو أمبير أو جلفا نومتر مدرج مباشرة بالوحدات المراد قياسها . وجدير بالذكر أن الاستجابة الطيفية للخلايا الكهربائية الضوئية تختلف تماما عن استجابة عين الانسان ولذلك فهى تستخدم دائما فى مرشحات ضوئية خاصة لتصحيح هذا الاختلاف .

9.2 الفتودتر الكروي التكاملی (Integrating Sphere Photometer)

يستخدم هذا الجهاز لقياس مقدار الفيض المنبعث من مصباح ما • ويتكون الجهاز من كرة مفرغة كبيرة الحجم سطحها الداخلى ناعم منتظم ومغطى بدهان أبيض بحيث يمكن اعتباره سطح ناشر تام وعاكس منتظم للضوء • ونصف قطر هذه الكرة كبير بالمقارنة بأبعاد المصابيح المستخدمة فى القياس بحيث يجب أن لا تزيد النسبة بين أبعاد المصباح المستخدم وقطر الكرة عن واحد الى ستة • وتتكون الكرة من نصفين أحدهما متحرك على قضبان مناسبة والاخر ثابت بحيث يمكن وضع المصباح تحت الاختبار داخل الكرة •

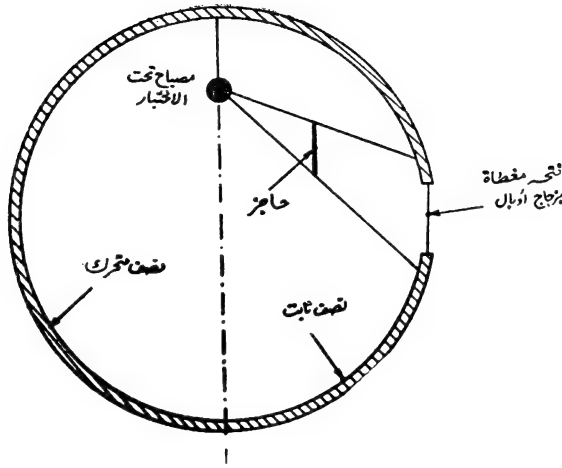
عند وضع أى مصباح داخل هذه الكرة ينعكس الضوء من أى نقطة على السطح الداخلى الى جميع النقط الاخرى بحيث تصبح الاستضاءة عند أى نقطة مكونة من جزئين : جزء ناتج عن الفيض الضيائى الذى يصلها مباشرة من المنبع وجزء ناتج عن الفيض الضيائى المنبعث من السطح الداخلى للكرة • ومن الواضح أن الاستضاءة (وبالتالى النصوص) عند أى نقطة من السطح الناتجة عن الضوء المنعكس فقط تتناسب طرديا والفيض الكلى للمنبع بغض النظر عن كيفية توزيع هذا الفيض أى أنه لا يشترط أن يوضع المنبع فى مركز الكرة بل يمكن وضعه فى أى مكان داخلها • ويمكن قياس هذا الجزء من الاستضاءة باستخدام فتحة مناسبة مغطاة بزجاج عالى النثر (زجاج أوبال) مع حجبها من الاضاءة المباشرة من المنبع (شكل 2 — 16)

اعتبر أن الفيض الضيائى من المنبع هو Φ وأن معامل انعكاس السطح الداخلى للكرة هو r وأن مساحته A فتكون الاستضاءة المباشرة من المنبع هى Φ/A • وتنعكس كمية من الفيض مقدارها $r\Phi$ لها استضاءة $r\Phi/A$ والكمية المنعكسة $r\Phi$ تسقط على السطح مرة أخرى لينعكس منها $r(r\Phi)$ وهكذا نجد أن الاستضاءة على السطح الداخلى للكرة هى

$$\Phi/A + r\Phi/A + r^2\Phi/A + \dots$$

$$= (\Phi/A)(1 + r + r^2 + r^3 + \dots)$$

$$= \Phi/(1-r)A \quad \text{لو كس}$$



شكل 2 - 16 فتومتر كروي تكاملي

والاستضاءة المقاسة هي هذه الكمية ناقص الاستضاءة المباشرة ϕ / A أى أن

$$E = \phi / (1 - r) A - \phi / A$$

$$= [r / (1 - r)] \phi / A$$

وحيث أن كلا من r و A معلومتان فإنه بقياس E نحصل على كمية الاضاءة المنبعثة من المنبع .

مثال :

وضع مصباح داخل الفتومتر الكروي التكاملي بغرض قياس الفيض الضيائي المنبعث منه فإذا كان نصف قطر كرة الفتومتر هي 65 سنتيمتر ومعامل الانعكاس له 84% وكانت الاستضاءة الغير مباشر المقاسة من الفتحة هي 1200 لوكس أحسب كمية الفيض الضوئي المنبعثة من المصباح .

بالتعويض في العلاقة السابقة

$$1200 = [0.84 / (1 - 0.84)] \phi / 4 \pi (0.65)^2$$

ومنها نحصل على

$$\phi = 1213$$

لومن

الفصل الثالث

المصابيح الكهربائية

المصباح الكهربى ، أيا كان نوعه ، ليس الا أداة لتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية وذلك عن طريق مرور تيار كهربى عبر وسط قد يكون صلبا (المصباح المتوهج) أو سائلا (مصباح قوس الكربون) أو غازيا (مصباح التفريغ الغازى) * وتوجد أصناف عديدة من المصابيح الكهربائية يختلف كل صنف عن الآخر من حيث التصميم والاداء على حسب الغرض من استخدام المصباح * فهناك مصابيح للانارة ومصابيح للاغراض الطبية (مثل مصابيح الشمس ومصابيح قاتلة الجراثيم) ومصابيح لاغراض الاشارة ومصابيح لاغراض التصوير والسينما (مصابيح الزينون) * وأنواع المصابيح التى تهمنا هنا هى تلك المصابيح التى تستخدم أساسا لغرض الانارة أى كمصدر للاضاءة الاصطناعية * ويمكن تصنيف هذه المصابيح كالآتى :

١ - المصابيح الفتيلية (filament lamps) وتتضمن :

أ) المصباح المتوهج incandescent lamp

ب) مصباح التنجستن - هالوجين tungsten - halogen lamp

٢ - مصابيح التفريغ الغازى (gas - discharge lamps) وتتضمن :

أ) المصباح الفلورى fluorescent lamp

ب) مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض
low pressure sodium lamp (SOX)

ج) مصباح الصوديوم ذات الضغط العالى
high pressure sodium lamp (HPS)

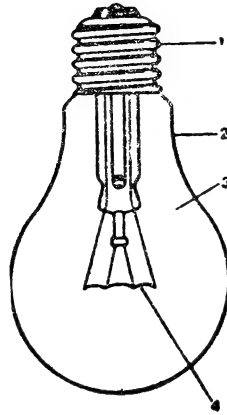
د) مصباح الزئبق ذات الضغط العالى
high pressure mercury lamp (HPM)

هـ) مصباح الهاليد المعدنى metal halide lamp

تعتبر أصناف المصابيح ب الى ه مصابيح تفريغ لها شدة استضاءة عالية •
وسوف نتناول فيما يلي وصف المصابيح المذكورة أعلاه كل نوع على حده •

1.3 المصباح المتوهج

ويتكون المصباح المتوهج (شكل 3 - 1) من فتيلة شديدة المقاومة للصهر مركبة داخل غلاف مفرغ بصلي الشكل مصنوع من الزجاج الشفاف أو المسنفر وله قاعدة من النحاس لاتمام التوصيل الكهربى بين الفتيلة والمنبع وذلك عن طريق دواة تناسب القاعدة • وقد تكون القاعدة اما لولبية (قلاووظ) أو بها مسارين • وعند مرور تيار كهربى فى الفتيلة ترتفع حرارتها الى درجة عالية جدا تجعلها متوهجة وباعثة للضوء •

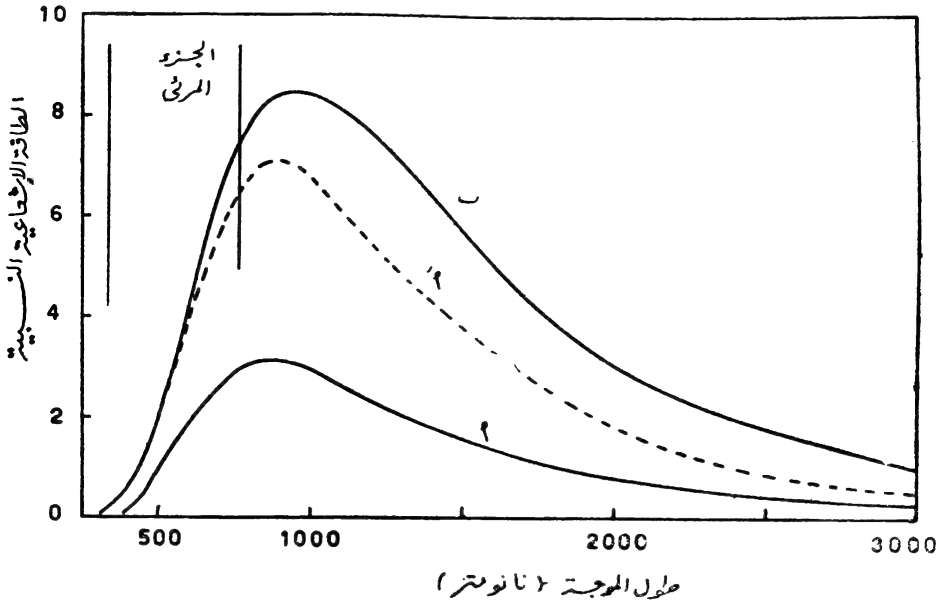


- شكل 3 — 1 الاجزاء الاساسية لمصباح متوهج • 1. القاعدة •
2. غلاف زجاجى • 3. حجم مفرغ أو به غاز خامل • 4. الفتيلة •

ويجب أن تكون لمادة الفتيلة الخواص الاتية : درجة انصهار عالية ، ضغط بخار منخفض ، متانة عالية ، مطيلية عالية وخصائص اشعاع ومقاومة كهربية مناسبة • وقد وجد أن انسب مادة لها جميع هذه الخواص هى التنجستن •
ويبين الشكل 2 — 3 الطاقة الاشعاعية الطيفية الصادرة من مساحة قدرها سنتيمتر مربع واحد وذلك للتنجستن (منحنى أ) ولجسم أسود (منحنى ب) وكليهما عند درجة حرارة 3000° ك • ويمثل المنحنى (أ) الطيف الاشعاعى لمساحة

2.27 سم² من التنجستن عند 3000° ك ، وله نفس كمية الاشعاع الواقع فى الجزء المرئى من الطيف كمنحنى الجسم الاسود (ب) •

وتبين هذه المنحنيات أن لنفس كمية الاشعاع الواقع فى الجزء المرئى من الطيف ولنفس درجة الحرارة فان التنجستن يشع 75% فقط من الاشعاع الكالى الناتج من جسم أسود وأن فقط نسبة صغيرة من هذا الاشعاع تقع فى الجزء المرئى من الطيف • وقد أوضحت التجارب أن كلما ارتفعت درجة حرارة التنجستن كلما زادت هذه النسبة ولذلك فان القدرة التأثيرية الضيائية للمصباح المتوهج تعتمد أساسا على درجة حرارة الفتيلة • وقيمة هذه القدرة عند درجة انصهار التنجستن (3655° ك) هى 53 لومن/وات •



شكل 3 — 2 الطاقة الاشعاعية الطيفية للتنجستن (أ) ولجسم أسود (ب)

ويعتمد عمر المصباح أساسا على درجة حرارة الفتيلة ، فكلما ارتفعت درجة حرارتها كلما قصر عمرها نتيجة لزيادة معدل تبخرها • والتوصل الى توافق بين عمر المصباح وبين قدرته الضيائية هى مسألة اختيارية • فاطالة العمر يعنى اضاءة ضعيفة والحاجة الى عدد أكبر من المصابيح واستهلاك عالى للطاقة

الكهربية فى حين أن رفع القدرة الضيائية يؤدى الى معدل كبير فى تبديل المصابيح وبالتالي الى زيادة كبيرة فى ثمن الاضاءة • وقد وجد أن 1000 ساعة كعمر للمصباح هو التوافق الامثل بين العمر والقدرة الضيائية حيث أن هذا الرقم يحقق أقل تكلفة لكل وحدة قدرة ضيائية •

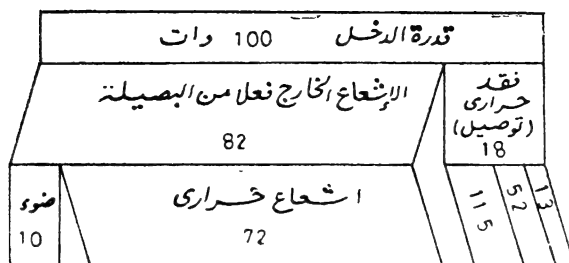
لقد كان عام ١٩٧٩ العيد المئوى للمصباح المتوهج ذى الفتيلة وهو أول مصباح كهربى انتج بالجملة وكان الركن الاساسى لقيام وتطور صناعة المصابيح الكهربائية بمختلف أنواعها • ورغم قدمه وقدرته التأثيرية الضيائية المنخفضة (10 — 15 لومن/وات) ، فانه مازال أكثر الانواع استخداما خاصة فى الاضاءة المنزلية • ويرجع ذلك الى ملاءمته ، ولون ضوءه وأمانته العالية لنقل الألوان (100) ورخص ثمنه • وجدير بالذكر أن هذا المصباح لم يتغير منذ ظهوره ، لا من حيث شكله البصلى ولا من حيث مبدأ التشغيل ولعل أهم خطوة فى تطويره جاءت عام ١٩١٥ عندما أمكن استبدال الفتيلة المصنوعة من الكربون بفتيلة مصنوعة من التنجستن •

وجدير بالذكر أن التنجستن المستخدم حديثا فى تصنيع الفتيلة (بواسطة ميتالورجيا المساحيق) به كميات صغيرة من بعض العناصر (عادة الالومنيوم والبوتاسيوم والسليكون) حيث وجد أن اضافتها يؤدى الى تحسين كبير فى الصلابة الميكانيكية للفتيلة •

تصل المقاومة الكهربائية لفتيلة التنجستن عند حرارة التشغيل الى ما بين 12 و 14 ضعف المقاومة عند حرارة الحجرة ولذلك فان التيار المار بها عند بدء التشغيل يصل الى حوالى 14 ضعف التيار المقنن للمصباح ثم يتضاءل الى التيار المقنن بعد حوالى 0.05 الى 0.1 ثانية

وتنصهر الفتيلة وينتهى عمر المصباح نتيجة لتكوين ماتسمى ببقعة ساخنة (hot spot) على الفتيلة • وتظهر هذه البقعة نتيجة لوجود عيب محدد الموقع فى الفتيلة تكون درجة الحرارة عنده فى بادىء الامر أعلى بقليل عن درجة حرارة باقى الفتيلة • ويزداد هذا الفارق فى درجة الحرارة تدريجيا بازدياد زمن اضاءة المصباح حيث أن التنجستن يتبخر من موقع العيب بمعدل أكبر من باقى الفتيلة مما يؤدى فى آخر الامر الى انصهار الفتيلة عند منطقة العيب • ويحدث هذا عادة لحظة اشعال المصباح نظرا لكبر التيار الاولى •

وقد كانت المصابيح المتوهجة فى بادىء الامر مفرغة تماما من الهواء لمنع أكسدة الفتيلة وفقد الحرارة ، وكانت الفتيلة نفسها مستقيمة والقدر الضيائية للمصباح لا تزيد عن حوالى 9 اوهن/وات . وكان من أهم عيوب هذه المصابيح ظاهرة «التسويد» ، وهى تكوين غشاء منتظم عاتم على السطح الداخلى للبصيلة نتيجة ترسب التنجستن المتبخر من الفتيلة . ويزداد هذا التسويد عتامة مع استخدام المصباح ويؤدى الى انخفاض ملموس ومتزايد فى قدرته الضيائية . وقد وجد أن استخدام خليط من غاز الارجون (90%) وغاز النيتروجين (10%) عند ضغط منخفض يقلل من تبخر التنجستن من الفتيلة ولذا يمكنها أن تعمل عند درجة حرارة أعلى بكثير من المصباح المفرغ . ولكن تبين أن وجود الغاز يتسبب فى تبريد الفتيلة نتيجة لتيارات الحمل ، وأمكن التغلب على ذلك باستخدام فتيلة على شكل ملف ضيق حيث أثبتت الابحاث أن الفقد الحرارى يتناسب وطول الفتيلة ولكنه لا يتأثر بقطرها . وبذلك أمكن رفع القدرة الضيائية الى 11 اوهن/وات . وباستخدام فتيلة على شكل ملف ملفوف (coiled coil) أمكن رفع هذه القدرة الى 13 اوهن/وات وذلك بدون أى انخفاض فى عمر المصباح .

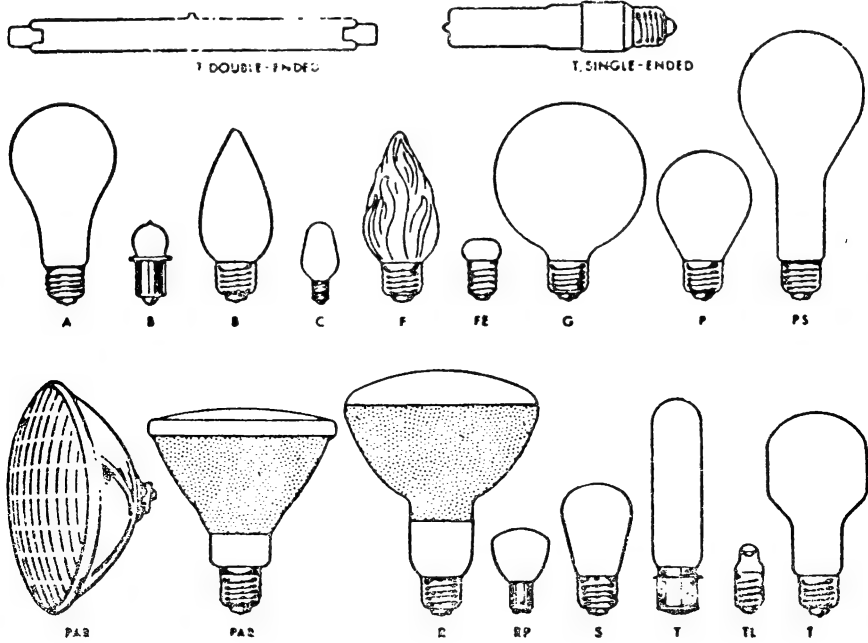


شكل 3 — 3 موازنة الطاقة لمصباح متوهج قدرته 100 وات .

ويبين الشكل 3 — 3 رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح متوهج قدرته 100 وات . ويعطى الشكل 3 — 4 بعض الاشكال المختلفة للبصيلة الزجاجية . وقد يكون الزجاج شفافاً أو مسنفاً من الداخل . ومن مزايا الزجاج المسنفر حجب الفتيلة الناصعة ونشر الضوء وتخفيف حدة الظلال بدون أى انخفاض فى القدرة الضيائية . وبعض الاستخدامات تكون البصيلة مفضضة كلية أو جزئياً من الداخل وفى هذه الحالة يجب مراعاة استخدام الدوى الخاصة بهذه المصابيح

حيث أن هذه الدوى تعمل عند درجات حرارة أعلى بكثير من دوى المصابيح العادية نظرا لانعكاس الحرارة من الاسطح المفضضة •

يصحب أى تغيير فى الجهد المقنن للمصباح تغييرا فى كل من الخصائص التالية للمصباح : المقاومة الكهربائية ، درجة الحرارة ، التيار ، الفترة ، الكفاءة الضوئية والعمر • ويبين الشكل 3 — 5 تأثير الجهد على هذه الخصائص •



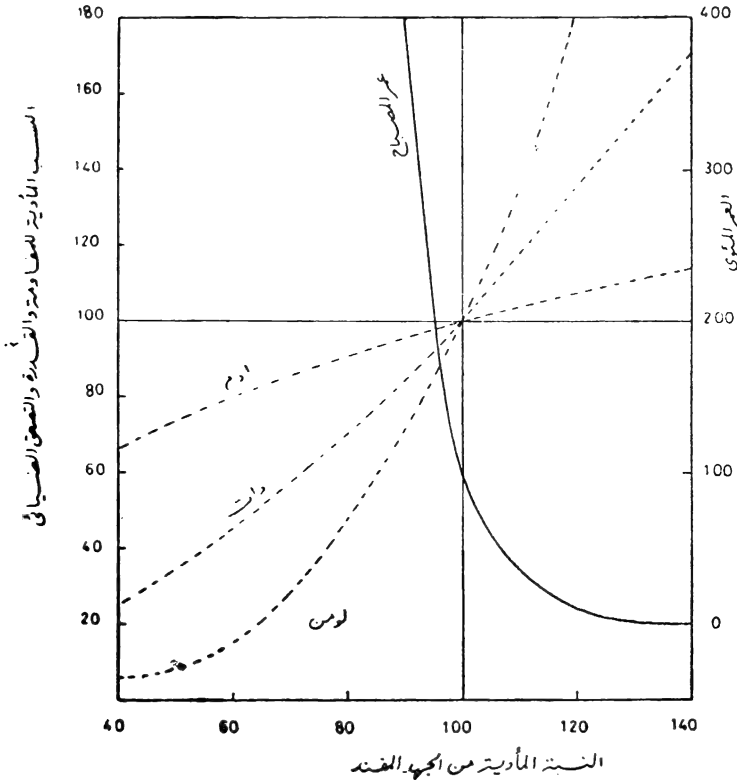
شكل 3 — 4 بعض الاشكال المختلفة للبصيلة الزجاجية

ان درجة حرارة التى يصل اليها المصباح عند التشغيل لها أهمية كبيرة من الناحية العملية • وذلك للأسباب الآتية :

أ) ارتفاع درجة الحرارة قد يؤدي الى انخفاض عمر المصباح عن طريق تفكك الاسمنت اللاصق بين القاعدة النحاسية والبصيلة الزجاجية أو القصدير المستخدم فى لحام السلوك الموصلة من الفتيلة الى القاعدة ، وأيضا الى تلف الدواى والسلوك الواصلة بها •

ب) ارتفاع درجة الحرارة قد يكون غير آمن بالنسبة للمواد القابلة للاحتراق المصنع منها ناشر الضوء أو المواد المجاورة له •

ج) فى بعض الاستخدامات التى يكون فيها الجو المحيط بالمصباح ملوثا ببعض الاتربة القابلة للاشتعال قد يتسبب أى ارتفاع فى درجة حرارة المصباح فى نشوب حريق •

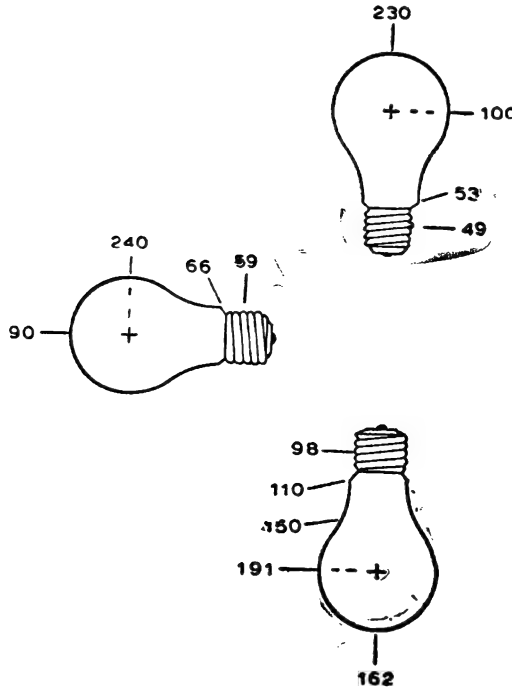


شكل 3 -- 5 تأثير الجهد على خصائص المصباح المتوهج

وتختلف درجة الحرارة من نقطة لآخرى على سطح المصباح كما تختلف قيمتها عند أى نقطة باختلاف وضع المصباح أثناء تشغيله • ويبين الشكل 3 - 6 التوزيع الحرارى لمصباح قدرته 100 وات وذلك للثلاثة أوضاع الأكثر استخداما •

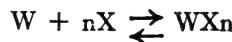
2.3 مصباح التنجستن - هالوجين

لقد ذكرنا أعلاه أن تبخر التنجستن يؤدي إلى ظاهرة التسويد • ووجود الغاز الخامل يقللها ولكن لا يمنعها كلية • والتسويد هذا يخفض القدرة الضيائية للمصباح ويتسبب أيضا في ارتفاع درجة حرارة البصيلة (نتيجة لامتصاص الاشعاع الحرارى) مما يضع حدا أدنى لحجم البصيلة بالنسبة للقدرة المتقنة للمصباح • وقد أمكن التغلب تماما على هذه الظاهرة فى مصباح التنجستن - هالوجين وهو مصباح متوهج يحتوى،بالاضافة الى الغاز الخامل ، كمية صغيرة من أحد الهالوجينات (الفلور والكلور والبروم واليود) التى تولد دورة استرجاع التنجستن • ويمكن تلخيص هذه الدورة كالآتى :

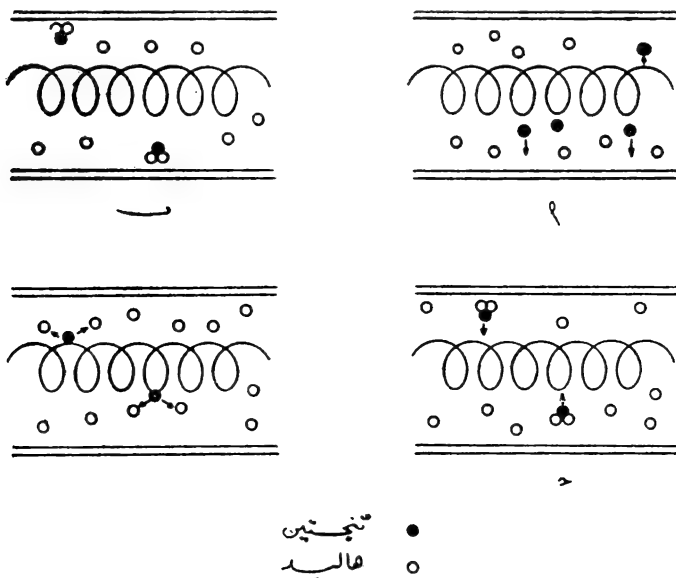


شكل 3 - 6 توزيع درجات الحرارة لمصباح قدرته 100 وات فى ثلاثة أوضاع مختلفة • (الدرجات المبنية هى درجات مئوية)

يتفاعل التنجستن (W) المتبخر من الفتيلة المتوهجة (شكل 3 - 7) وذلك أثناء انتشاره نحو الغلاف الخارجى ، مع الهالوجين (X) ليكونا غاز هاليد التنجستن (شكل 3 - 7 ب) :



وتمنع درجة الحرارة العالية للغلاف ترسيب جزيئات هذا الغاز فترتد نحو الفتيلة (شكل 3 — 7 ج) وعند الاصطدام بها ونتيجة لدرجة حرارتها العالية جدا تتفكك الى تنجستن وهالوجين ويترسب التنجستن على الفتيلة (شكل 7 — 3 د) • ومن الناحية النظرية فانه يجب بهذه الدورة الاسترجاعية أن يكون عمر المصباح لا نهائيا ، ولكن عمليا هذا لا يحدث • فبرغم عدم وجود أى فقد صافى فى التنجستن من الفتيلة الا أن ذرات التنجستن المسترجعة اليها تترسب تفضيليا على أجزاء الفتيلة الأكثر برودة ، أى أن هناك انتقال كمية من التنجستن على محور الفتيلة نفسها مما يؤدي فى امدى الطويل الى تكوين بقعة ساخنة واحتراق الفتيلة •



شكل 3 — 7 دورة استرجاع التنجستن فى مصباح التنجستن - هالوجين

وحيث أن دورة الاسترجاع تتطلب أن تكون درجة حرارة سطح الغلاف عالية ، فلذلك يصنع الغلاف من زجاج الكوارتز •

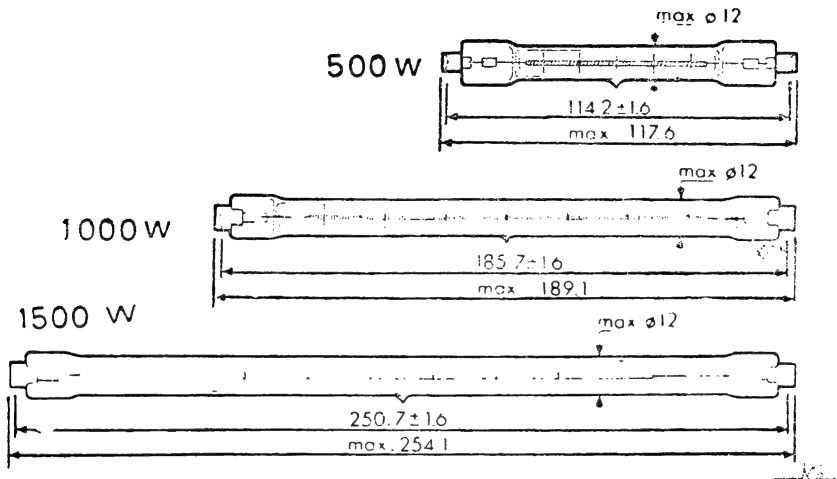
ويمكن تلخيص مزايا الدورة الاسترجاعية فيما يلى :

أ (التخلص التام من ظاهرة التسويد مما أدى الى خفض حجم الغلاف الزجاجى الى 90% من حجم مصباح متوهج عادى له نفس القدرة •

ب) نتيجة للصلابة الميكانيكية العالية لمادة الكوارتز فقد أمكن زيادة ضغط الغاز داخل الغلاف الى ثلاثة أمثال الضغط داخل المصباح العادى • ونظرا لصغر الانبوبة فقد أمكن أيضا استخدام الغازات الخاصة مثل الكربتون والزينون التى لها كثافة أكبر من غاز الارجون وذلك رغم غلو ثمنها •

وقد أدت هذه المزايا الى اطالة عمر المصباح الى ضعف (أى 2000 ساعة) عمر المصباح المتوهج والى زيادة القدرة الضيائية الى 21 لومن/وات مع الاحتفاظ بأمانة نقل ألوان عالية (100) • ويبين الشكل 3 — 8 الابعاد الرئيسية لمصابيح تنجستن — هالوجين لها قدرات مختلفة •

ورغم أن هناك صعوبات تقنية مازالت تحول دون انتاج مصباح تنجستن — هالوجين له قدرة أقل من 300 وات ويعمل بجهد 220/110 فولت لاستخدامه فى الاضاءة المنزلية ، الا أن هذا النوع من المصابيح له استخدامات أخرى كثيرة وخاصة تلك التى تحتاج الى قدرة صغيرة واطءاء عالية النضوع وأمانة عالية لنقل الالوان • وأهم هذه الاستخدامات هى اضاءة أجهزة السينما وأجهزة تسليط الشرائح ومصابيح السيارات والاطءاء فى المسارح والاطءاء الخارجية والاطءاء الغامرة (flood lighting) للملاعب ونقل الاذاعات الخارجية على التليفزيون ، وكذلك عروض الصوت والضوء •



شكل 3 — 8 الابعاد الرئيسية لمصابيح تنجستن هالوجين ذات قدرات مختلفة

3.3 مصابيح التفريغ الغازي

1.3.3 نبذة عامة عن مصابيح التفريغ

يعتبر الضوء الناتج عن التفريغ الكهربى (الانهيار) فى الغازات ظاهرة جانبية لهذا التفريغ ولكنها ظاهرة هامة جدا بالنسبة للاضاءة . والسبب فى ظهور الضوء هو أن بجانب الالكترونات التى لها طاقة حركية كافية لتأيين ذرات الغاز ، يوجد أيضا عديد من الالكترونات التى لها طاقة حركية تكفى لاستثارة الذرات . فالاستثارة فى الغازات الخاملة ، وأبخرة المعادن عند الضغوط المنخفضة يصحبها الابتعاث الخطى الطيفية الخاصة بالذرة المستثارة . ويقع جزء من الموجات المنبعثة من ذرات النيون مثلا فى الجزء ما بعد البنفسجى من الطيف (740 أنجسترم) ويمتصها الغلاف الزجاجى ويقع الجزء الاخر من الموجات فى حدود أطوال 5400 الى 7000 Å° وينتج عنها الضوء البرتقالى الضارب الى الحمار وهو اللون المألوف للافتحات الاعلانات المضيئة . وإذا أردنا أن نتحكم فى لون أو كمية الضوء المشع يجب اما أن نختار غازا تقع أطوال موجات الطيف الخاصة بذراته المستثارة داخل النطاق الأكثر حساسية بالنسبة للعين البشرية ، أو أن نجد وسيلة لتحويل الاشعاع ما بعد البنفسجى الى ضوء مرئى . وكلتا الطريقتان مستخدمة فى مصابيح التفريغ الغازى . والمصابيح التى تستخدم الطريقة الاولى تعمل ببخار الصوديوم حيث دلت دراسة الخطوط الطيفية لذرات المواد المختلفة على أن ذرة الصوديوم لها أمثل ابتعاث ضوئى بالنسبة للعين . أما المصابيح التى تستخدم الطريقة الثانية فتعمل ببخار الزئبق حيث يقع أغلب الاشعاع المنبعث من ذرات الزئبق المستثارة فى الجزء ما بعد البنفسجى من الطيف ويتم تحويله الى ضوء مرئى عن طريق كسو الغلاف الداخلى لانبوبة التفريغ بطبقة من المواد الفلورية التى تعتبر المنبع الاساسى للضوء المرئى .

وبما أن ضغط بخار الصوديوم أو الزئبق عند درجة حرارة الحجرة منخفض جدا، فلذلك تملأ أنبوبة التفريغ بغاز خامل بالإضافة الى كمية من معدن الصوديوم أو الزئبق . وعند انهيار الكهربى لهذا الغاز (الاشعال) ترتفع درجة الحرارة ويبدأ الصوديوم أو الزئبق فى التبخر ويرتفع الضغط حتى يتواجد عدد كاف من ذرات المعدن يتم استثارته بواسطة الالكترونات . وحيث أن جهد الاستثارة

للغاز الخامل أكبر بكثير من جهد الاستثارة للصوديوم أو الزئبق ، فعند اتمام الاشعال تصبح عملية الاستثارة مقتصرة تماما على ذرات البخار • والغاز الخامل يؤدي وظيفتين : الاولى كغاز بدىء والثانية كغاز «اصطدام» أن أى وجوده يتسبب فى تحرك الالكترونات فى مسارات متعرجة ويؤدي ذلك أولا الى تسخين الغاز وثانيا الى تضاعف عدد الاصطدامات بين الالكترونات وذرات المعدن وبذلك تضاعف احتمال الاستثارة •

ويجب أن نوضح هنا أن جميع مصابيح التفريغ لها اشكال واحد مشترك: الاشعال • والاشعال هو تحويل غاز البدء من وسط عازل الى وسط موصل للكهرباء والانتقال من حالة التفريغ التوهجى الى حالة التفريغ القوسى المستقر • والتوصل الى التفريغ التوهجى يحتاج الى جهد عالى بين الالكترونات فى حين أن القوس الكهربى يستطيع تمرير تيارا كبيرا للغاية بين الالكترونات بفارق جهد صغير بينهما ، ولتفادى احتراق المصباح يجب الحد من هذا التيار باستخدام معاوقة فى الدائرة الخارجية فى صورة ملف كبح (ballast) على التوالي مع المصباح •

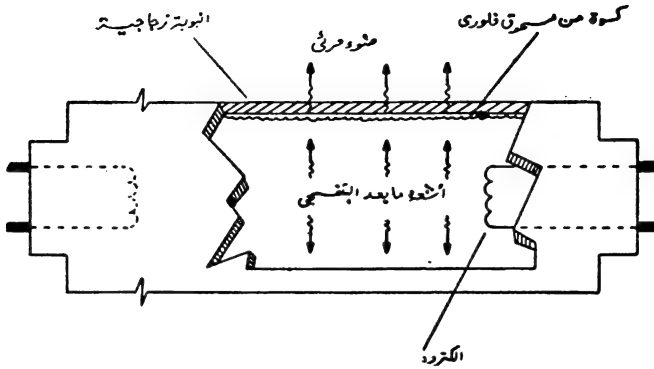
والخطوة الاولى فى عملية الاشعال ، وهى الانهيار الكهربى لغاز البدء ، تتم اما عن طريق توليد جهد عال لفترة زمنية قصيرة أو عن طريق تخفيض جهد الانهيار لغاز البدء • ويجب الاخذ فى الاعتبار أن جهد الانهيار فى الغازات هو دالة من حاصل ضرب الضغط والمسافة بين الالكترونات (قانون باشن)ويمكن خفض هذا الجهد باستخدام خليط من غازين خاملين بدلا من غاز واحد ويعرف هذا الخليط بخليط بننج (Penning mixture) والخليط الأكثر استخداما هو 99% نيون و 1% أرجون وهو يستخدم أساسا فى مصابيح الصوديوم ذو الضغط المنخفض مصابيح الصوديوم ذو الضغط العالى المصنعة خصيصا لتحل مكان مصابيح الزئبق ذو الضغط العالى •

أما الخطوة الثانية ، وهى الانتقال من تفريغ توهجى الى تفريغ قوسى مستقر ، فلايمكن التوصل اليها الا اذا كان فى استطاعة المنبع أن يمد الالكترونات بالطاقة الكافية - عن طريق التفريغ التوهجى - لتسخينهم الى درجة الحرارة اللازمة للابتعاث • واذا كان القصور الذاتى الحرارى للالكترونات عاليا، أو كانت الطاقة المنقولة اليهم خلال فترة التفريغ التوهجى غير كافية ، فان ذلك

يؤدى الى خفض عمر المصباح بسبب البصق (sputtering) للمادة الابتعائية الكاسية للالكترودات والذي يحدث أثناء التفريغ التوهجى •

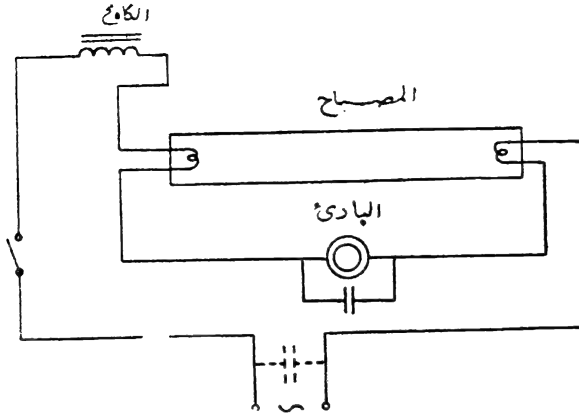
2.3.3 انصايح الفلورية

يتكون المصباح الفلورى عادة من أنبوبة زجاجية طويلة* سطحها الداخلى مكسو بمسحوق فلورى وطرفاها محكمان تماما وكل منهم مزود بالكترود (شكل 3 — 9) • وتحتوى الانبوبة على خليط من غاز الزئبق وغاز خامل مثل الارجون يساعد على بدء تشغيل المصباح وعلى انتشار التفريغ وعلى اطالة عمر الالكترودات • ويتراوح ضغط بخار الزئبق بين 10^{-2} و 10^{-3} مم زئبق وضغط الغاز الخامل بين 1 و 10 مم زئبق • ويعتمد مبدأ تشغيل هذا المصباح على التفريغ الغازى الذى يتم بين الالكترودين • ويتولد نتيجة لهذا التفريغ اشعاع يقع أغلبه فى الجزء ما فوق البنفسجى من الطيف (254 nm) • ويقوم المسحوق الفلورى بتحويل هذا الاشعاع الغير مرئى الى اشعاع مرئى حيث أن خاصية المسحوق هى امتصاص طاقة الاشعاع ما فوق البنفسجى واعادة ابتعاثها كاشعاع مرئى أى كضوء • ويعتمد لون هذا الضوء على نوع المسحوق الفلورى المستخدم •



شكل 3 — 9 الاجزاء الرئيسية لمصباح فلورى

* رغم أن أغلب المصابيح الفلورية لها أنبوبة مستطيلة الشكل إلا أنه توجد مصابيح لها أنبوبة على شكل حرف الـ U أو دائرية الشكل •



شكل 3 — 10 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى ذات التسخين المتقدم *

ويمكن تقسيم المصابيح الفلورية الى ثلاثة أنواع على حسب طريقة بدء تشغيلها :

أ) مصباح ذات التسخين المتقدم (قبل بدء التشغيل) وهو يحتاج الى بادئ خاص Preheat switch start (with starter)

ب) مصباح سريع البدء ولا يحتاج الى بادئ Rapid start (no starter)

ج) مصباح لحظى البدء ولا يحتاج الى بادئ Instant start (no starter)

١ - المصباح ذات التسخين المتقدم

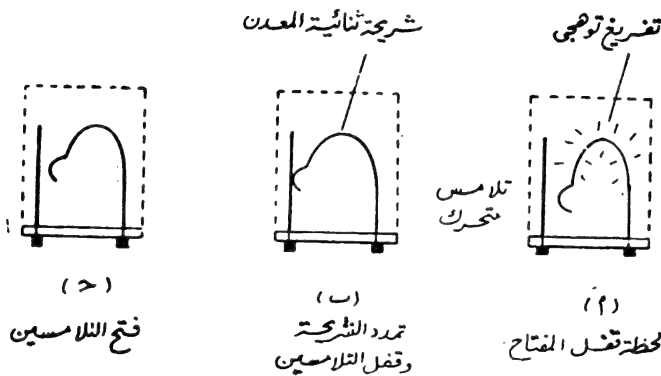
يبين الشكل 3 — 10 أبسط دائرة كهربائية يمكن استخدامها لتشغيل هذا النوع من المصابيح • فلنبدأ بشرح نظرية البادئ • يتكون البادئ أساساً من تلامسين أحدهما ثابت والثانى متحرك ومثبت بطرف شريحة ثنائية المعدن • والتلامسان محكمان داخل أنبوبة زجاجية صغيرة تحتوى على غاز خامل مثل النيون أو الأرجون (شكل 3 — 11) • وعند قفل المفتاح يظهر جهد الخط بين التلامسين وهذا الجهد كاف لحدوث تفريغ توهجي بينهما • والحرارة الناتجة عن هذا التفريغ كافية لتسخين الشريحة وتمدها مما يؤدي الى قفل التلامسين وانتهاء التفريغ • وعندئذ يمر تيار عبر فتيلتى المصباح وتبدأ عملية التسخين • وفى خلال بضع ثوانى تكون شريحة البادئ قد بردت ويفترق التلامسان وفى هذه اللحظة ونتيجة لوجود المفاعلة الحثية لملف الكبح* (ballast) يظهر

* اللفظة الدارجة لهذا الملف هي «ترانس»

جهد عابر عال بين الكترودى المصباح يكفى لبدء التفريغ الغازى بينهما واشعال المصباح وفى هذه الحالة يصبح فرق الجهد بين الالكترودين صغيراً جداً وغير كاف لاعادة تشغيل البادى • أما اذا فشلت المحاولة الاولى فى اشعال المصباح فتتكرر الخطوات الموضحة أعلاه حتى تتم عملية الاشعال • والغرض من المكثف (0.006 ميكروفراد) الموصل بين طرفى البادى هو منع أو تقليل التداخل اللاسلكى •

ويجب أن نوضح هنا أن ملف الكبح له وظيفتان : الاولى هى اعطاء الدفعة القوية للجهد واللازمة لاشعال المصباح والثانية هى الحد من قيمة التيار واستقراره بعد الاشعال • والسبب فى ضرورة كبح التيار يرجع ، كما سبق أن ذكرنا ، الى خصائص التفريغ الغازى فان لم توجد مقاومة خارجية كافية فى الدائرة الكهربائية يتطور هذا التفريغ الى تفريغ قوسى وهو بمثابة قصر بين الالكترودين •

نتيجة للمفاعلة الحثية للملف فان معامل القدرة لدائرة المصباح منخفض (حوالى 0.5 متأخر) ويتم تحسينه عن طريق توصيل مكثف مناسب بين طرفى المنبع • وتوجد بعض أنواع من الملفات تحوى مكثفا بداخلها • وعلى أى حال يجب استخدام مكثفات أو مكثف واحد كبير فى حالة استخدام عدد كبير من المصابيح حيث أن تحسين معامل القدرة يؤدي الى انخفاض قيمة التيار وبالتالي الى استخدام مقاطع أصغر للاسلاك •

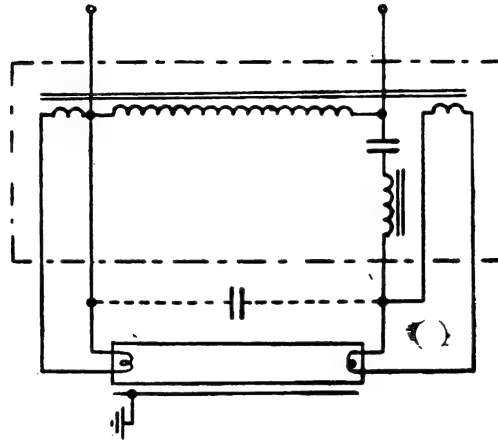


شكل 3 — 11 البادى الخاص بالمصباح الفلورى

وجدير بالذكر أن ملف الكبح قد يكون مصدرا للضوضاء نتيجة للاهتزازات المغناطيسية التى تحدث فى القلب الحديدى • وفى الملفات الجيدة التصميم قد أمكن التخلص من هذه المشكلة •

ب - المصباح السريع البدء

فى هذا المصباح يظل تسخين الالكترودين من المنبع مستمرا طوال فترة اضاءته ويبين الشكل (3 — 12) الدائرة الكهربائية لهذا النوع من المصابيح • ورغم أن هذا المصباح لا يحتاج الى بائىء الا أنه يحتاج الى ما يسمى مساعد البدء (starting aid) وهو عبارة عن شريط موصل عرضه حوالى 25مم وله نفس طول المصباح ويمتد بجواره ومتصل بالارض • ويعتمد بعد الشريط عن المصباح على التيار المقنن للمصباح • فاذا كان التيار 500 ملى أمبير أو أقل يوضع الشريط على بعد 18 مم أما اذا كان التيار أكبر من ذلك فيوضع الشريط على بعد 25 مم • ووجود الشريط ضرورى لرفع شدة المجال الكهربى بين أى من الالكترودين والارض بحيث يبدأ التفريغ التوهجى عند الالكترودات أولا • وبعد ذلك يكون فارق الجهد بين الالكترودين (وهو جهد المنبع) كافيا لامتداد هذا التفريغ بينهما واطارة المصباح • وحيث أن عملية البدء تعتمد أساسا على توزيع الجهد بين الالكترودين وبينهما والارض ، فان الرطوبة لها



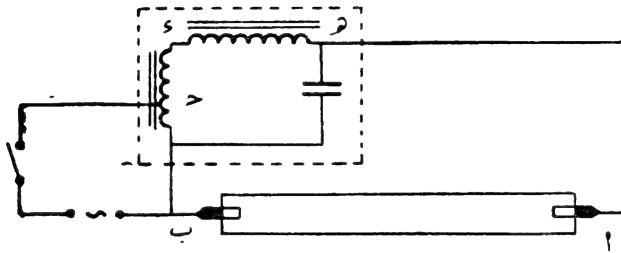
شكل 3 — 12 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى سريع البدء

أثر مناوىء على عملية بدء المصباح ولذلك يتم كسو السطح الخارجى لانبوبة هذا النوع من المصابيح بطبقة شفافة من مادة غير قابلة للبلل .

ويتم تسخين الالكترودات عن طريق محول مصمم خصيصا لهذا الغرض . وتستغرق عملية البدء ما بين ثانية واحدة وثانيتين . وهذا المصباح ، مثله مثل جميع المصابيح التى تعمل بالتفريغ الغازى ، يحتاج الى كابح للتيار للأسباب التى سبق ذكرها أعلاه .

ج - المصباح اللحظى البدء

يختلف هذا المصباح عن المصابيح السابقة فى أن الالكترودات لا تحتاج الى أى تسخين لاتمام عملية البدء أى أن التفريغ الغازى يبدأ والالكترودات باردة . ولذلك فان كل الكترود مكون من أصبع واحد فقط اسطوانى الشكل ومكسو بمادة انبعائية . ويبين الشكل (3 — 13) الدائرة الكهربائية الخاصة بهذا النوع من المصابيح . وهذه الدائرة تقوم بوظيفتين : الاولى هى توليد جهد عال (400 الى 1000 فولت) عبر المصباح عند قفل الدائرة ، والثانية هى تخفيض الجهد الى جهد التشغيل العادى للمصباح بعد اشعاله . عند قفل المفتاح لا يوجد أى تيار بين أطراف المصباح أ ، ب ويظهر بينهما جهد أعلى بكثير من جهد المنبع وذلك عن طريق المحول الذاتى ب ج د . ويكفى هذا الجهد لبدء التفريغ الغازى داخل الانبوبة بين أ ، ب . وعند حدوث التفريغ تقوم المفاعلة الحثية ملف الكبح د ه بخفض الجهد عبر طرفى المصباح الى قيمته الطبيعية .

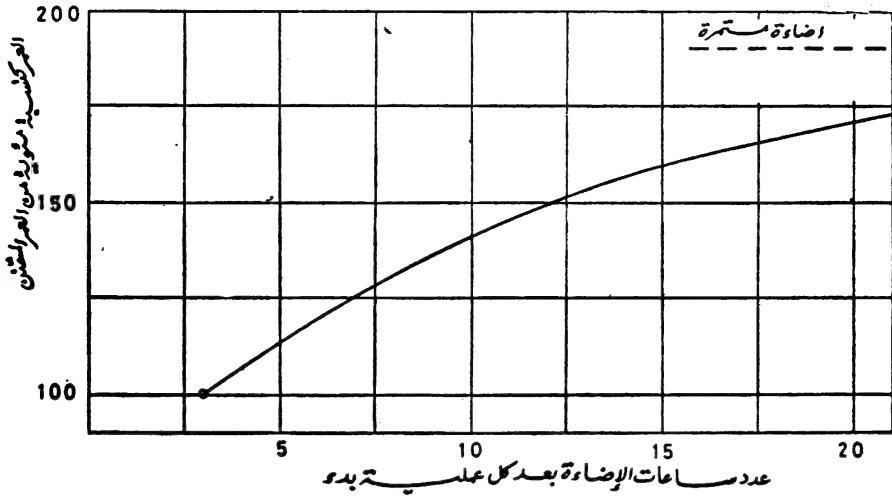


شكل 3 — 13 الدائرة الكهربائية لمصباح فلورى لحظى البدء

والانبوبة عليها طبقة خارجية شفافة من مادة غير قابلة للبلل وذلك لنفس السبب الذى ذكرناه بالنسبة للمصباح السريع البدء .

عمر المصباح الفلورى

يعتمد عمر المصباح على معدل تبخر المادة الابتعائية المكسو بها الالكترودات ويتبخر جزء من هذه المادة عند كل عملية بدء وأيضاً أثناء اضاءة المصباح . وينتهى عمر المصباح عند تبخر كل المادة الابتعائية من أحد الالكترودين . وبما أن كمية التبخر أثناء عملية البدء أكبر بكثير من كمية التبخر أثناء الاضاءة ، فلذلك يزداد عمر المصباح كلما زادت عدد ساعات الاضاءة بين كل عملية بدء . ويتم تحديد عمر المصباح الفلورى (وهو يتراوح بين 7500 و 15000 ساعة) على أساس أن مدة الاضاءة المستمرة بين كل عملية بدء هى ثلاث ساعات . ويبين الشكل (3 — 14) العلاقة بين عدد الساعات التى يظل خلالها المصباح مضيئاً بعد كل عملية بدء وعمر المصباح . وهناك عوامل أخرى تؤثر على عمر المصباح من أهمها خواص ملف الكبح والبادىء حيث أن هذه الخواص تحدد قيم كل من الجهد عبر المصباح والتيار عند البدء وعند التشغيل لتفى بمواصفات المصباح .

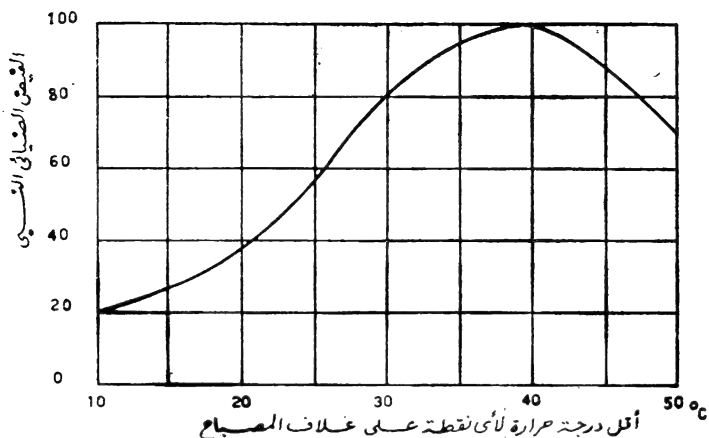


شكل 3 — 14 العلاقة بين عدد ساعات الاضاءة بعد كل عملية بدء وعمر المصباح الفلورى

وعند قرب نهاية عمر المصباح يظهر جزء أسود قائم عند طرف أو طرفى المصباح نتيجة لتبخر المادة الابتعائية . والظهور المبكر لهذا السواد يدل على أن المصباح يعمل تحت ظروف تشغيل غير طبيعية : عيب أو خلل فى البادىء ، التلامس غير جيد بين المصباح والماسك ، ملف الكبح غير مناسب ، ارتفاع أو

انخفاض الجهد عن الحدود المقتنة للمصباح • وعند انتهاء عمر المصباح ذات التسخين المتقدم يحاول البادئ تكرار اشعاله ، وحيث أن تيار التسخين يزيد عن التيار عند التشغيل بحوالى 50% ، تؤدى هذه الزيادة فى التيار الى ارتفاع كبير فى درجة حرارة ملف الكبح واتلافه • ولذلك يجب الاسراع فى استبدال المصباح • ولحماية ملف الكبح من التلف نتيجة ارتفاع درجة حرارته تزود الملفات الحديثة بمفتاح حرارى وقائى يقوم بفصل الملف من الدائرة اذا ارتفعت درجة حرارة صندوق الملف الى 110° م • وتنص المواصفات القياسية لبعض البلاد على ضرورة تزويد الملفات التى تستخدم داخل المباني بمفتاح وقائى وذلك كحماية ضد الحريق •

وجدير بالذكر أن الفيض الضيائى للمصباح الفلورى ينخفض كلما زادت عدد ساعات الاضاءة حيث يصل الى ما بين 67 و 80% من قيمته المقتنة بعد انقضاء حوالى 70% من متوسط عمر المصباح •



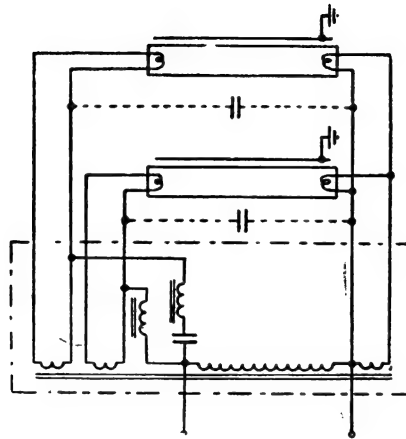
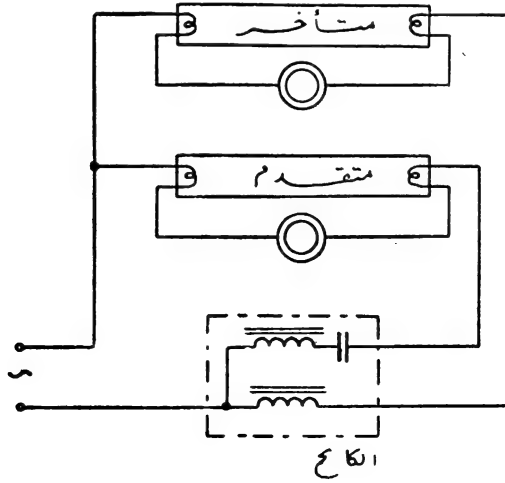
شكل 3 — 15 تأثير درجة حرارة غلاف المصباح على الفيض الضيائى

يعتمد تشغيل المصباح الفلورى أساسا على وجود بخار زئبق وعلى قيمة ضغط هذا البخار التى تؤثر تأثيرا مباشرا على الخواص الضوئية للمصباح • وحيث أن الضغط يعتمد على درجة الحرارة فاننا نجد أن خصائص المصباح تتأثر بتغيير درجة الحرارة • ويحتوى أى مصباح فلورى دائما على كمية من الزئبق الغير متبخر يتكثف عند النقطة أو النقط الأكثر برودة فى المصباح

فيصبح ضغط بخار الزئبق معتمدا على درجة حرارة هذه النقط • وتعتمد هذه الحرارة على تصميم المصباح وقدرته ونوع ناشر الضوء المستخدم وعلى درجة حرارة المحيط • ويبين الشكل (3 — 15) العلاقة النمرذجية بين أدنى درجة حرارة على غلاف المصباح والفيض الضيائي للمصباح •

ظاهرة الارتعاش

حيث أن الطاقة الفوق بنفسجية المولدة من التفريغ الغازي تتناسب وقدره



شكل 3 — 16 الدائرة الكهربائية للاقلال من التأثير الستروبوسكوبي للمصابيح ذات التسخين المتقدم والمصابيح السريعة البدء

الدخل ، فهي تتغير دوريا بضعف ذبذبة المنبع الا أن الخاصية الفسفورية للمادة التي تكسو السطح الداخلى للمصباح تساعد على تقليل حجم هذا التغير . ولكن رغم ذلك فان الضوء اللحظى الناتج من المصباح يتغير دوريا ويسمى هذا التغير الارتعاش (flicker) . واذا كان تردد المنبع هو 50 هرتز فمعدل الارتعاش هو 100 دورة فى الثانية وهذا المعدل سريع ولا تشعر به العين . ولكن اذا شوهدت أجساما متحركة تحت الاضاءة الفلورية يظهر للجسم عدة خيالات وهذا هو ما يسمى بالتأثير الستروبوسكوبى (stroboscopic effect) وفى المشروعات الاضائية الجيدة التصميم يمكن الاقلال من هذا التأثير باستخدام الدوائر المبينة فى الشكل (3 — 16) وذلك فى حالة تغذية المصابيح من مرحلة واحدة . وفى هذه الدوائر يغذى أحد المصباحين بتيار متقدم ويغذى الآخر بتيار متأخر بحيث يعوض الفرق المرحلى بينهما التغير الدورى فى الخارج الضوئى . أما فى الدوائر الثلاثية المراحل فيتم جمع كل ثلاثة مصابيح سويا ويغذى كل مصباح من مرحلة مختلفة .

لون المصباح الفلورى

يعتمد لون ضوء المصباح الفلورى وقدرته الضيائية على نوع المادة المتفسفرة (phosphor) المستخدمة فى كسو الانبوبة الزجاجية وعالى نوع المواد المنشطة (activators) التى تضاف الى المادة المتفسفرة لرفع كفاءتها الفلورية . ويبين الجدول 1.3 بعض المواد المستخدمة وألوانها المميزة .

وبين الشكل (3 — 17) توزيع القدرة انطيفية لنوعين من المصابيح الفلورية . وجددير بالذكر أن الابحاث الحديثة قد أثبتت أنه بحصر الاشعة المرئية داخل نطاقات ضيقة معينة يمكن الحصول على قدرة ضيائية عالية وأيضا أمانة نقل ألوان عالية .

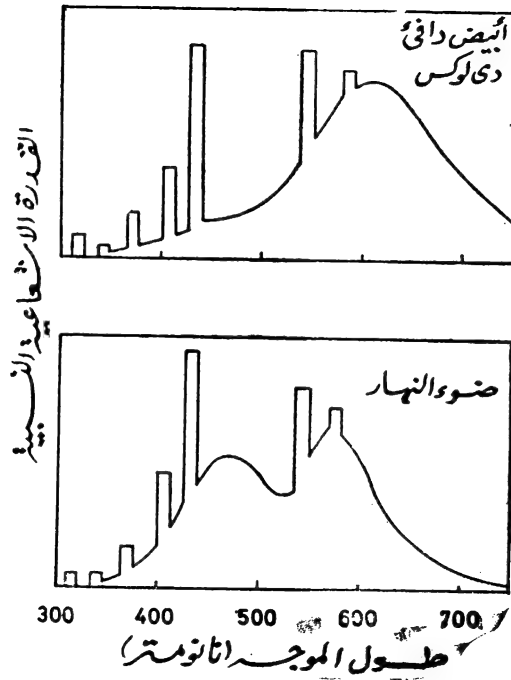
وبين الشكل (3 — 18) رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح فلورى قدرته

40 وات .

ان أكثر المصابيح الفلورية استخداما هى المصابيح ذات اللون المسمى عامة بالـ «أبيض» . وهناك عدة أنواع من هذا اللون الابيض كما هو مبين فى الجدول التالى :

جدول 1.3. بعض المواد المتفجرة والمنشطة المستخدمة في الصابيح الفلورية

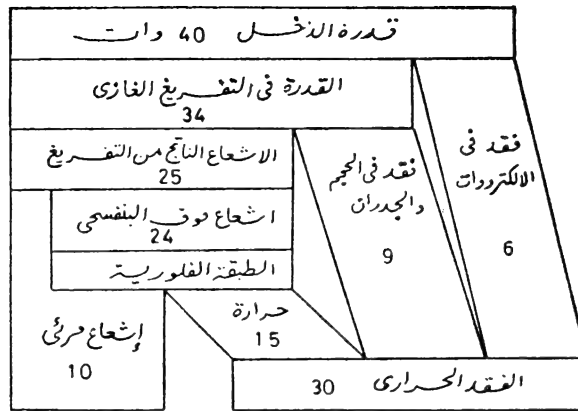
المادة المتفجرة	المادة المنشطة	اللون المميز	طول الموجة عند التيعة الذروية للطيف الفلوري	نوع المصباح
Calcium tungstate	Lead	أزرق	440 nm	أزرق
Magnesium tungstate	—	أزرق ضارب الى البياض	480	ضوء النهار
Calcium halophosphate	Antimony	أزرق ضارب الى البياض	480	ضوء النهار
Zinc sulphate	Manganese	أخضر	520	أخضر
Calcium holophosphate	Antimony + Manganese	أصفر ضارب الى البياض	590	أبيض بارد ، أبيض ، أبيض دافئ ، ضوء النهار
Magnesium fluorogermanate	Manganese	أحمر	660	أبيض بتمييز محسن للالوان



شكل 3 — 17 توزيع القدرة الطيفية لنوعين من المصابيح الفلورية

صفة البياض	القدرة الضيائية (لومن/وات)	أمانة الألوان	دليل
أبيض بارد	80	67	Cool white
أبيض بارد دى لوكس	55	85	Deluxe cool white
أبيض دافئ	80	55	Warm white
أبيض دافئ دى لوكس	55	77	Deluxe warm white
أبيض	80	61	White
نور النهار	67	75	Daylight

واختيار اللون الابيض المناسب يتوقف على غرض الاضاءة والاهمية النسبية التى تعطى لكل من القدرة الضيائية وأمانة نقل الالوان ومظهر الضوء (هل هو أقرب الى ضوء النهار أو الى ضوء المصباح التوهجى) • فمثلا يستخدم المصباح ذات الضوء الابيض البارد (وهو أكثر الالوان استخداما) فى المصانع والمكاتب والمدارس حيث له قدرة ضيائية عالية وأمانة ألوان جيدة أما المصباح



شكل 3 — 18 موازنة الطاقة لمصباح فلوري قدرته 40 وات

الابيض بارد «دى لوكس» فضوئه أقرب الى ضوء النهار الطبيعي عن جميع الاضواء الفلورية الاخرى من حيث المظهر وأمانة نذل الالوان وذلك فهو يستخدم فى جميع المصانع والمحلات (ملابس ، أقمشة ، زهور الخ) التى تحتاج الى أمانة عالية لنقل الالوان .

ويبين الجدول التالى خصائص المصابيح الفلورية وذلك للتقدرات الاكثر استخداما :

القدرة الاسمية (وات)	القدرة الفعلية (وات)	الطول (سم)	القطر (مم)	الفيض الضيائي * (لومن)	القدرة الضيائية (لومن/وات)	النصوع (كندلا/سم ²)
20	25	60	38	1250	63	0.65
40	46	120	38	3200	80	0.75
65	75	150	38	5100	79	0.95

* بعد مائة ساعة • الفيض الضيائي المبين هو للمصابيح ذات الضوء الابيض والابيض الدافئ والابيض البارد • وللمصابيح الاخرى يجب ضرب هذه القيم فى المعاملات الاتية : 0.95 لضوء النهار ، 0.65 للابيض البارد أو الدافئ دى لوكس •

3.3.3 مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

يتميز هذا المصباح بأعلى قدرة تأثيرية ضيائية (133 — 183 لومن/وات) بين جميع المصابيح التي تستخدم لأغراض الإضاءة المستمرة ولكنه في نفس الوقت أسوأهم من ناحية أمانة نقل الألوان (45 —) حيث لا يمكن بتاتا تمييز الألوان على ضوءه ولذلك فهو يستخدم أساسا للإضاءة الخارجية في الأماكن التي تحتاج إلى قدرة ضيائية عالية وإدراك تباين عال (contrast recognition) بدون الحاجة إلى أى أمانة في نقل الألوان مثل الشوارع والموانئ والمطارات ومعابر الخطوط الحديدية والمحاجر الخ . وقد أوضحت التجارب أيضا أن البهر الناتج من هذا المصباح أقل إزعاجا من البهر الناتج من أنواع المصابيح الأخرى . ويصل عمر المصباح إلى 15000 ساعة وقد أوح قدرته بين 35 و 180 وات .

يتولد الضوء في هذا المصباح عن طريق التفريغ الغازي الذي يتم في وسط له ضغط منخفض ومكون من بخار الصوديوم له ضغط 3×10^{-3} مم زئبق (وهو الضغط الأمثل لتحويل طاقة التفريغ القوسي إلى ضوء) وغاز خامل (99% نيون + 1% أرجون) له ضغط يتراوح بين 1 و 10 مم زئبق . وحيث أن الإشعاع الناتج عن هذا التفريغ يقع في الجزء المرئي من الطيف فليس هناك حاجة إلى استخدام أى مادة متفطرة كما هو الحال بالنسبة للمصباح الفلوري . وطول موجات الإشعاع منحصرة بين 589 و 589.6 نانومتر ولذلك فالإشعاع أصفر وتقريبا وحيد اللون (monochromatic) مما يزيد من إدراك التباين* ولكن في نفس الوقت يتسبب في رداءة أمانة نقل الألوان . وللتوصل إلى الضغط الأمثل لبخار الصوديوم يجب أن تكون درجة حرارة جدار أنبوبة التفريغ حوالي 270° م ويجب أن يتحمل الزجاج المصنعة منه الأنبوبة مهاجمة الصوديوم الشديد التفاعل عند هذه الحرارة المرتفعة . ومع التقدم في صناعة أنواع الزجاج المقاوم للصوديوم أصبح من الممكن حاليا تشغيل المصباح عند أمثل الظروف . وتكون أنبوبة التفريغ في غالبية المصابيح على شكل حرف U (لخفض طول المصباح وتسهيل تركيبه) ومزودة عند كل طرف بفتيلة مكمية بمادة ابتعائية .

* الضوء الوحيد اللون يقلل من تأثير الزيغ اللوني (chromatic aberration) لعين الإنسان على الإدراك .

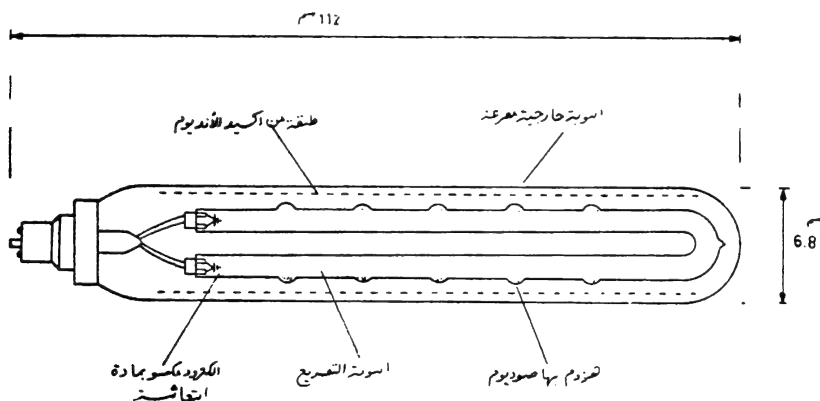
وعند تسخين الفتيلتين يبدأ التفريغ فى الغاز الخامل أولا ويبدو بلون أحمر • ونتيجة للحرارة المولدة من هذا التفريغ المبدئى يبدأ الصوديوم فى التسييل ثم يتبخر جزء منه ويدخل فى عملية التفريغ فيتحول الضوء تدريجيا الى اللون الاصفر المميز لبخار الصوديوم • وتتراوح الفترة الزمنية بين بدء المصباح واعطائه الاضاءة الكاملة بين 7 و 15 دقيقة •

وللمحافظة على درجة حرارة جدار أنبوبة التفريغ عند 270° م تقريبا يجب منع أو خفض الفقد الحرارى الناتج عن تيارات الحمل والتوصيل والاشعاع وذلك عن طريق العزل الحرارى للانبوبة • ويتم ذلك باحاطة أنبوبة التفريغ بأنبوبة أخرى مفرغة كما هو مبين فى شكل (3 — 19) • وللخفض من الفقد الحرارى الاشعاعى فقد أثبتت التجارب أن ترسيب طبقة رقيقة جدا (0.31 ميكرومتر) من أكسيد الانديوم (الذى مؤخرًا حل محل أكسيد الصفيح) على السطح الداخلى للانبوبة المفرغة يؤدى الى تحسن كبير فى كفاءة المصباح حيث تكون هذه الطبقة سطحا عاكسا للاشعاع الحرارى (دون الاحمر) مما يساعد على حفظ درجة حرارة سطح أنبوبة التفريغ عند 270° م • ويبين الجدول التالى تأثير العزل الحرارى على القدرة التأثيرية الضيائية لانبوبة تفريغ تجريبية •

نوع العزل لانبوبة التفريغ	القدرة الواتية المناظرة لاعلى قدرة تأثيرية ضيائية (وات)	القدرة التأثيرية الضيائية (لومن/وات)
انبوبة غير معزولة	1150	65
انبوبة محاطة بأنبوبة مفرغة	490	110
الانبوبة الخارجية مكسية بأكسيد الصفيح	200	160
الانبوبة الخارجية مكسية بأكسيد الانديوم	160	180
انبوبتان خارجيتان مكسيتان بأكسيد الانديوم	110	200
الانبوبة الخارجية مكسية بأكسيد الانديوم ولكن المصباح مغذى بتيار موجته مستطيلة الشكل		
بدلا من جيبيه الشكل	110	220

ونتيجة للتوزيع الغير منتظم للحرارة على طول جدار أنبوبة التفريغ ، يتكثف بخار الصوديوم فى الاماكن الباردة مكونا عندها سطحا مرآويا يقلل من

القدرة الضيائية للمصباح • وللتغلب على هذه الظاهرة زودت الانبوبة بعدة هزوم (شكل 3 — 19) يوضع فيها الصوديوم • وحيث أن هذه الهزوم تمثل أبرد أماكن فى الانبوبة فان الصوديوم يتكثف عندها وقد أدت أيضا هذه الهزوم الى توزيع أجود للصوديوم داخل الانبوبة ورفع القدرة الضيائية للمصباح •



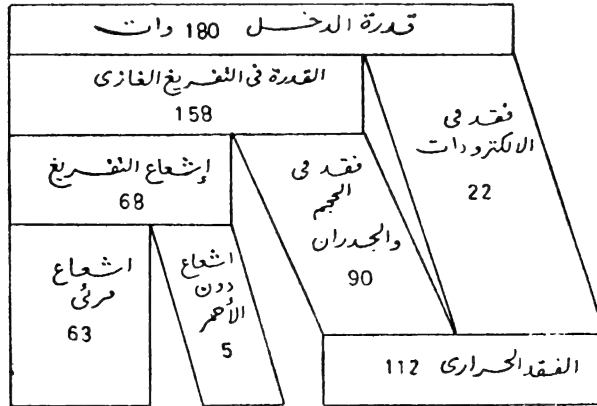
شكل 3 — 19 مصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

ويبين الشكل (3 — 20) رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح قدرته 180 وات • ويعطى الجدول التالي بعض البيانات الخاصة بمصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض للقدرات المصنعة حاليا :

قدرة المصباح وات	جهد البدء فولت	جهد المصباح فولت	القدرة الضيائية لومن/وات	طول المصباح مم
35	390	70	133	310
55	410	105	140	425
90	420	115	141	528
135	575	160	159	775
180	575	245	183	1120

الدائرة الكهربائية التى كانت تستخدم حتى عام ١٩٧٠ لبدء وتشغيل المصباح كانت تحتوى على محول ذاتى له مفاعلة تسرب عالية يرفع الجهد بين طرفى المصباح عند البدء ثم يخفضه ويحدد من قيمة التيار المار فى المصباح نتيجة للمفاعلة الحثية العالية • وقد أثبتت التجارب العملية أنه اذا استبدل التيار الجيبى بتاير له موجة مستطيلة الشكل ، فان ذلك يرفع القدرة التأثيرية

النضائية للمصباح ويقلل قيمة الجهد اللازمة لبدئه • وقد أدى ذلك الى تصميم جهازا جديدا يعرف بالكابح الهجينى (hybrid ballast) يحتوى على بادىء الكترونى مستقل وكابح للتيار مكون من ملف L_1 له محاثه خطية وملف L_2 له محاثه غير خطية (محاثه تشبع) ومكثف C (شكل 3 — 21) بحيث تعطى هذه الدائرة تيارا يحتوى على أكبر نسبة ممكنة من التوافقية الثالثة وذلك لتقريب الموجة من الشكل المستطيل (شكل 4 — 22) • ويحتوى البادىء على دائرة الكترونية تولد نبضات جهد 950 فولت بتردد 50 كيلو هرتز أثناء فترة البدء ثم تنفصل تلقائيا بعد البدء لمنع التداخل اللاسلكى • ويبين الجدول التالى مقارنة بين خواص الكابح الهجينى الحدد والمحول الذاتى وذلك لمصباح قدرته 90 وات •

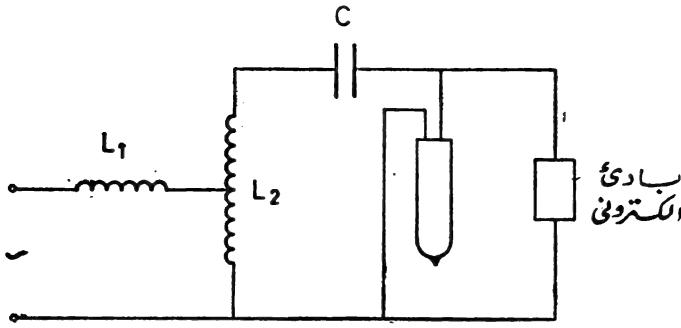


شكل 3 — 20 موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات الضغط المنخفض قدرته 180 وات

الخاصية	محول ذاتى	كابح هجينى
الوزن (كج)	7.7	3.3
الفقد (وات)	35	21
التوافقية الثالثة		
فى تيار المنبع (%)	40	7.5
كفاءة النظام (لومن/وات)	107	118
تيار اللاحمل/تيار المصباح	3	0.9
اعادة البدء	غير لحظى	لحظى

4.3.3. مه ب'ح الصوديوم ذات الضغط العالي

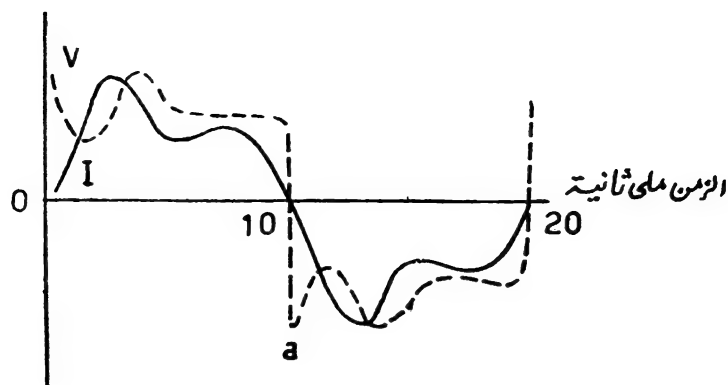
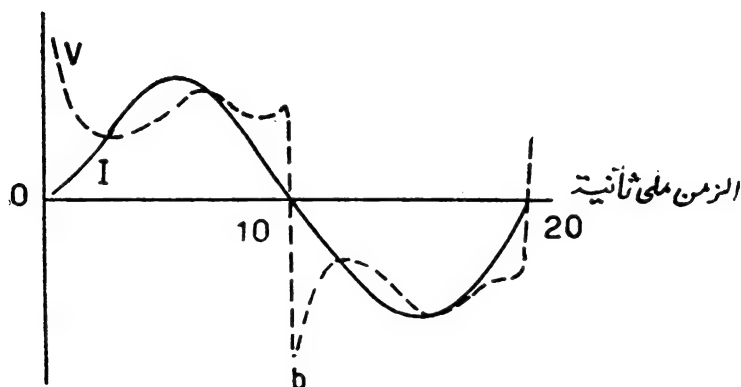
يعتمد نوع الضوء الناتج عن التفريغ في بخار الصوديوم على ضغط البخار .
 ففي حالة الضغط المنخفض يكون الضوء أحادي اللون كما ذكرنا أعلاه . أما إذا
 كان الضغط عالياً - حوالي 60 مم زئبق - فإن طول موجات الإشعاع الناتج
 يقع على مدى واسع من الطيف المرئي مما يجعل لون الضوء أبيض - ذهبي به
 كمية كبيرة من اللون الأحمر والأصفر وكمية صغيرة من الأزرق والبنفسجي .
 ولم يكن من الممكن استخدام هذه الخاصية في صناعة مصباح صوديوم ذات
 ضغط عالى إلا بعد اكتشاف مادة لتصنيع منها أنبوبة التفريغ تكون ناقلة
 للضوء ويمكنها احتواء بخار الصوديوم الحيات للغاية عند درجة حرارة
 1300° م وإمكان عمل نهايات محكمة بين الكاتودات وأطراف الأنبوبة بحيث
 تتحمل تحت بخار الصوديوم وأيضا الاجهادات الحرارية الناتجة عن اضاءة
 واطفاء المصباح .



شكل 3 - 21 الكابح الهجينى

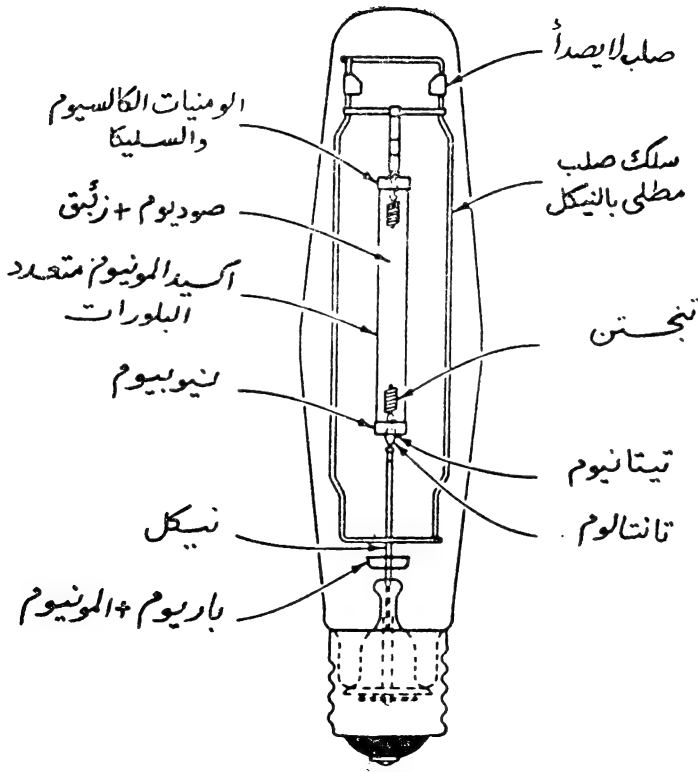
وقد أدت العديد من الأبحاث الى اكتشاف مادة أكسيد الألومنيوم (الالومينا)
 المتعدد البلورات والمتلبد (sintered polycrystalline alumina) التى لها
 الخصائص المطلوبة لانبوبة التفريغ ، وأيضا الى إيجاد أمثل وسيلة لاحكام
 الموصلات عند أطراف الانبوبة وذلك بواسطة أنواع خاصة من المعادن أو
 الزجاج . ويتكون كل الكترود من ملف من التنجستن مكسو بطبقة من مادة
 ابتعائية ومثبت على قضيب من نفس المعدن . ولتوصيل التيار الى الكاتودات
 يستخدم قضيب أجوف (لتفريغ الانبوبة ثم شحنها بالصوديوم والغاز
 الخامل) من معدن النيوبيوم الذى له تعدد حرارى موائم للتمدد الحرارى مادة

الانبوبة • وتوضع الانبوبة داخل غلاف زجاجى مفرغ (شكل 3 — 23) لعزلها حراريا ولحمايتها من العوامل الخارجية • وقد يكون هذا الغلاف من زجاج صاف انبوبي الشكل أو من زجاج عليه كسوة داخلية من مسحوق ناشر للضوء وبيضى الشكل •



شكل 3 — 22 شكل موجة التيار فى حالة استخدام كابج عادى (الشكل العلوى) وفى حالة استخدام الكابج الهجينى (الشكل السفلى)

وبالإضافة الى الصوديوم تحتوى الانبوبة على كمية من الزئبق ومن غاز الزينون • فلقد أثبتت الدراسات أن وجود الزئبق يرفع القدرة التأثيرية الضيائية للتفريغ لسببين • الاول هو خفض الفقد الناتج عن التوصيل الحرارى فالموصلية الحرارية لخليط من غازين تقع بين قيم الموصلية لكل غاز على حدة

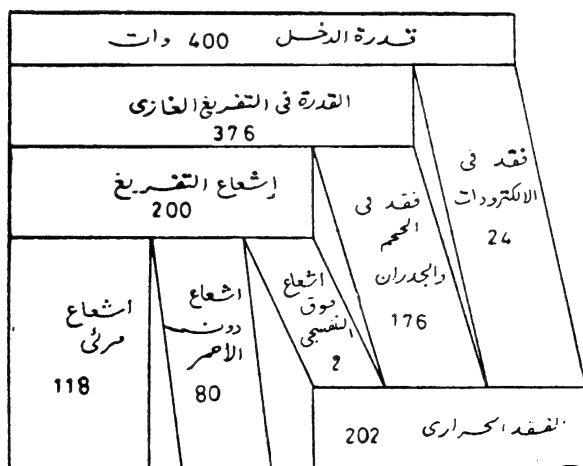


شكل 3 — 23 مصباح صوديوم ذات الضغط العالي

وتتغير تغيراً خطياً تقريباً ونسبة عدد ذرات كل غاز في الخليط • وحيث أن الموصلية الحرارية للصوديوم أكبر من موصلية الزئبق فللحصول على أقل فقد نتيجة للتوصيل الحراري يجب أن يكون ضغط بخار الزئبق عالياً بالنسبة لضغط بخار الصوديوم (عملياً حوالي ثمانية أضعاف) • أما السبب الثاني فهو خفض الفقد الناتج عن التوصيل الكهربائي حيث أن وجود الزئبق يخفض الموصلية الكهربائية للقوس الكهربائي • وللتفسير العلمي لذلك يجب الرجوع إلى نظريات البلازما والقوس الكهربائي •

أما وجود غاز الزينون فهو يسهل عملية بدء المصباح كما أوضحنا في الفقرة 1.3.3. وجدير بالذكر أن جهد استثارة ذرات الزئبق أو ذرات الزينون أكبر من جهد استثارة ذرات الصوديوم ولذلك فإن وجودهما ليس له تأثير يذكر على الطيف الضوئي للمصباح •

ومصباح الصوديوم ذات الضغط العالي له قدرة ضيائية عالية (120 لومن/وات) ومعامل متوسط لامانة نقل الالوان (23) • لذلك فان استخدامه يكون مناسباً جداً عندما تكون الاعتبارات الاقتصادية أهم بكثير من متطلبات الامانة في نقل الالوان • وهو يستخدم بكثرة في مجال الاضاءة الخارجية ولاسيما اضاءة الشوارع • وعمر المصابيح الحديثة يصل الى 24000 ساعة • ويبين الشكل (3 - 24) موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات ضغط عالي قدرته 400 وات •



شكل 3 — 24 موازنة الطاقة لمصباح صوديوم ذات الضغط العالي قدرته 400 وات

بالإضافة الى كبح التيار ، يحتاج المصباح لبادئ الكتروني خاص لتوليد نبضات جهد ذات تردد عالي ومركبة على جهد المنبع • وبعد البدء يحتاج المصباح لحوالي ست دقائق ليصل تدفقه الضيائي الى 80% من قيمته المقننة • ونظرا لوجود ضغط بخار مرتفع أثناء التشغيل المستقر للمصباح ، فهو يحتاج بعد اطفائه ، لحوالي ثلاثة دقائق لاعادة اشعاله وذلك حتى يتسنى للضغط داخل أنبوبة التفريغ أن يهبط الى القيمة التي تسمح لجهد البدء باعادة الاشعال • الا أنه يوجد الان بعض البادئات الخاصة تستطيع اعادة اشعال المصباح فوراً • ويجب الرجوع الى توصيات المصنع لاختيار جهاز البدء المناسب لنوع المصباح وقدرته • ونظرا لصغر قطر أنبوبة التفريغ فان المصباح ذو الغلاف الخارجي الصاف (أنبوبي الشكل) يستخدم بكثرة في الاضاءة الغامرة حيث يمكن تصميم ناشر

ضوء خاص لهذا النوع من الاضاءة له كفاءة عالية وقليل البهر • ويستخدم فى الاضاءة الخارجية للمباني العامة والتذكارية والمطارات وأرصفت الشحن والتفريغ والملاعب ومواقف السيارات • ورغم أن أمانة نقل الالوان لضوء هذا المصباح ليست عالية إلا انها تفى بالغرض لاضاءة مثل هذه الاماكن •

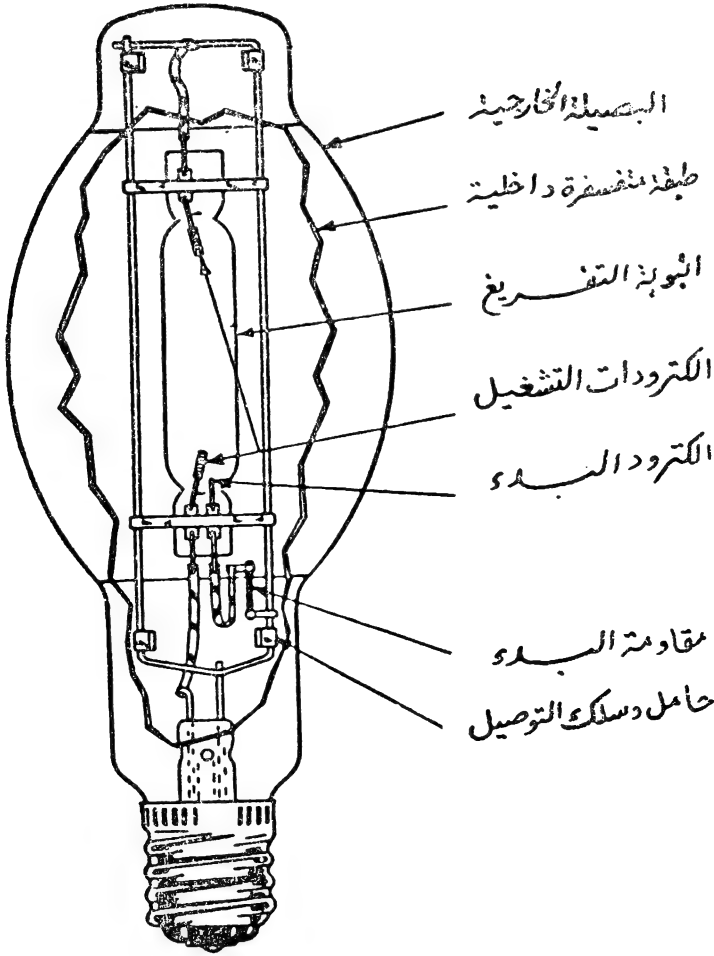
أما المصباح ذو الغلاف الخارجى البىضى فهو يستخدم فى اضاءة الشوارع • وحيث أن حجم المصباح وشكله يماثل حجم وشكل مصباح الزئبق ذو الضغط العالى ، يمكن مبادلة المصباحين بدون تغيير ناشر الضوء • واستبدال مصباح الزئبق بمصباح الصوديوم يؤدى الى ارتفاع كبير فى مستوى الاضاءة لنفس القدرة أو الى انخفاض فى القاترة (حوالى 50%) اللازمة للحصول على نفس مستوى الاضاءة • وحيث أن احتياجات البدء لمصباح الصوديوم تختلف عن احتياجات مصباح الزئبق ، فتوجد مصابيح صوديوم مصممة خصيصا بحيث يمكنها أن تعمل من نفس دائرة البدء الخاصة بمصباح الزئبق • وهذه المصابيح يقل استهلاكها للطاقة من 10 — 15% وتزيد قدرتها الضيائية بحوالى 40% عن مصابيح الزئبق •

وجدير بالذكر أنه حتى قريبا لم تكن تصنع مصابيح صوديوم ذات ضغط عالى لها قدرة تقل عن 250 وات ، ولكن مؤخرا تم انتاج مصابيح ذو قدرة 150 و 100 و 70 و 35 وات مما أدى الى استخدامها فى اضاءة المناطق السكنية والشوارع الجانبية • وتتجه الابحاث الحالية نحو تحسين أمانة نقل الالوان بحيث يمكن استخدام هذه المصابيح للاضاءة الداخلية •

5.3.3 مصباح الزئبق ذات الضغط العالى

يبين الشكل (3 — 25) مقطعا لمصباح الزئبق ذات الضغط العالى يوضح مكوناته الاساسية • وأهم جزء فى المصباح هو أنبوبة التفريغ المصنوعة من زجاج الكوارتز • وتحتوى هذه الانبوبة على كمية من الزئبق وعلى كمية صغيرة من غاز الارجون عند ضغط 30 — 50 مم زئبق عند درجة حرارة الحجرة • ووجود هذا الغاز الخامل ضرورى لتسهيل عملية بدء التفريغ حيث أن ضغط بخار الزئبق عند درجة حرارة الحجرة منخفض جدا • والانبوبة مزودة باكترودين أساسيين والكترود بدء بجوار أحدهما (شكل 3 — 26) والكترود البدء موصل بالالكترود الاساسى عند الطرف المقابل للانبوبة عن طريق مقاومة بدء • ويتكون

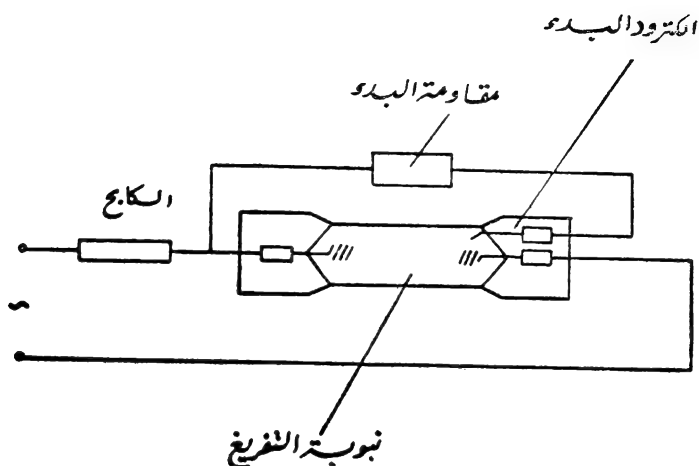
كل الكترود أساسى من مادة ابتعاثية مطمورة داخل ملف من التنجستن ومحمية بملف تنجستن آخر خارجى •



شكل 3 — 25 مصباح زئبق ذات ضغط عالى

ولا يكفى جهد المنبع العادى لاجداث انهيار كهربي بين الالكترودين الاساسيين نظرا للمسافة الكبيرة التى تفصلهما • ولكن هذا الجهد يظهر أيضا بين الالكترود الاساسى والكترود البعد المجاور له ويكفى لاجداث انهيار كهربي فى الثغرة التى بينهما • ويأخذ هذا الانهيار شكل تفريغا توهجيا نظرا لوجود مقاومة خاصة (10 — 30 كيلو أوم) للحد من حجم تيار التفريغ • ويؤدى

هذا التفريغ التوهجي الى تأيين غاز الارجون ومن ثم الى انتشار التفريغ فى الانبوبة حتى يصل الى الالكترود الاساسى المقابل ، وعندئذ يتحول هذا التفريغ الى تفريغ قوسى ويقوم ملف الكبح بالحد من حجم التيار • ونتيجة للحرارة المولدة من هذا التفريغ يبدأ الزئبق فى النبخر وينتقل التوصيل فى القوس الكهربى تدريجيا من غاز الارجون الى غاز الزئبق وعند حدوث ذلك ينطفى التفريغ عند الكترود البدء تلقائيا نتيجة لوجود مقاومة خارجية عالية جدا للتيار فى هذا المسار بالنسبة للمقاومة التى يلقاها التيار فى المسار بين الالكترودين الرئيسيين • وأثناء العملية الانتقالية يتغير ضوء المصباح من اللون المائل الى الزرقة الذى يتميز به القوس فى غاز الارجون الى اللون الازرق المخضر الخاص بالقوس لآ بخار الزئبق • ويزداد الضوء نصوعا حتى يصل الى ذروته وينحصر التفريغ القوسى فى منتصف الأنبوبة • ويتراوح الزمن المنصرف من لحظة بدء المصباح (أو اعادة بدئه)حتى احراره اضاءته الذروى بين ثلاث وسبع دقائق • ويتحدد الضغط النهائى الذى يعمل عنده المصباح بكمية الزئبق التى توضع فى أنبوبة التفريغ ويتراوح هذا الضغط بين ثمانية عشر أضعاف الضغط الجوى لاصغر المصابيح (50 وات) أو ضعفى الضغط الجوى لأكبرها (2000 وات) • وتصل درجة حرارة جدار انبوبة التفريغ الى 700°م •

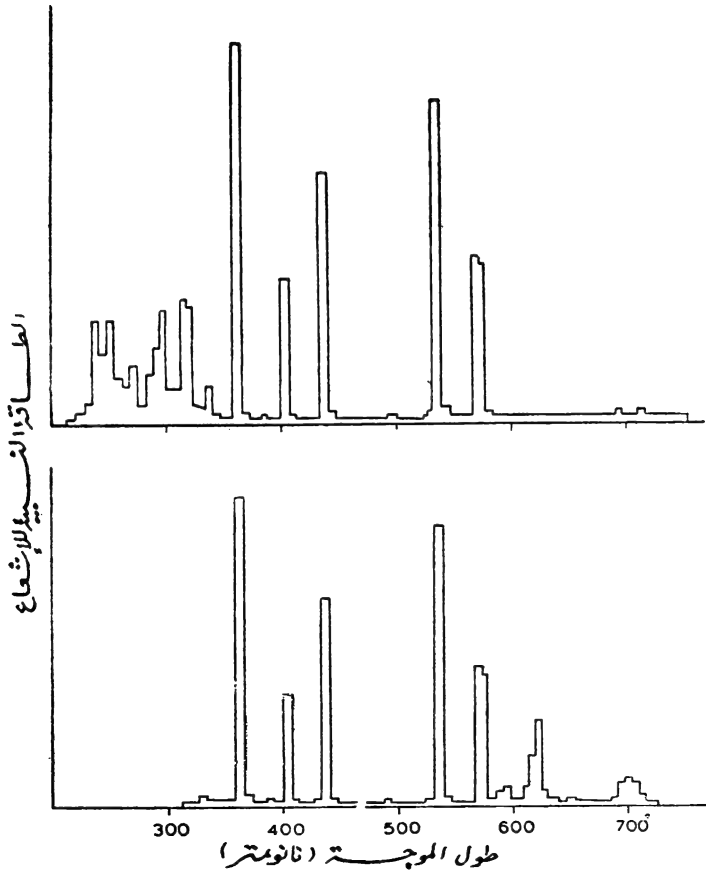


شكل 3 — 26 دائرة التغذية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى

وفى الغالبية العظمى من هذه المصابيح تركب أنبوبة التفريغ داخل غلافا زجاجيا بيضى الشكل وذلك للأسباب الآتية (أ) وجود الغلاف يحمي أنبوبة التفريغ ويمنع أى تغيرات فى درجة حرارتها قد تفتح عن تغير فى درجة حرارة الجو (ب) يحتوى الغلاف على خليط من غاز الأرجون والفنتروجين عند ضغط يتراوح بين 100 و 250 مم زئبق وذلك لمنع الأجزاء المعدنية الموجودة خارج أنبوبة التفريغ من التأكسد ومنع قفز الوميض بين تلك هذه الأجزاء التى لها جهود مختلفة (ج) يمكن كسو السطح الداخلى للغلاف بمادة متفسفرة أو جزءا من هذا السطح بطبقة عاكسة للضوء (د) فى بعض التطبيقات الخاصة يمكن تصنيع الغلاف من زجاج خاص يقوم بدور المرشح لازالة بعض الأطوال الموجية من طيف الأشعاع القوسى .

يبين الشكل (3 — 27) العلوى توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى قدرته 250 وات . وحيث أن الخطوط الطيفية الغالبة هى البنفسجى والاخضر والاصفر ، فالضوء الناتج من المصباح لونه أبيض مائل الى الازرق المخضر ويبدو غير مريح للعين وله أمانة نقل ألوان رديئة (15 — 20) . والسبب فى ذلك هو عدم وجود أى اشعاع فى الجزء الاحمر من الطيف المرئى . وبما أن جزءا كبيرا من الطاقة الاشعاعية الصادرة من أنبوبة التفريغ يقع فى الجزء فوق البنفسجى من الطيف ، لذلك يتم كسو السطح الداخلى للغلاف الخارجى للمصباح بطبقة متفسفرة تقوم بتحويل جزءا من هذه الطاقة الى ضوء مرئى وهى نفس الطريقة التى تستخدم فى المصابيح الفلورى (أنظر فقرة 2.3.3) وباستخدام المادة المتفسفرة المناسبة يمكن اضافة كمية من اللون الاحمر الى الاشعاع الضوئى مما يرفع دليل أمانة نقل الالوان الى حوالى 40 والقدرة الضيائية الى حوالى 55 لومن/وات بدلا من حوالى 46 لومن/وات للغلاف الصافى . وتعرف المصابيح المكسية بمادة متفسفرة بالمصابيح ذات اللون المحسن (colour-improved lamps). ويبين الشكل (3 — 27) السفلى توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالى له غلاف مفسفر وقدرته 250 وات .

أما المواد المتفسفرة التى يمكن استخدامها فى هذه المصابيح فهى محدودة جدا اذا قورنت بالمواد التى يمكن استخدامها فى المصابيح الفلورية اذ يجب أن



شكل 3 — 27 توزيع القدرة الطيفية لمصباح زئبق ذات ضغط عالي قدرته 250 وات عندما تكون البصيلة شفافة (الشكل العلوي) وعندما تكون البصيلة مكسية بمادة متفسفرة (الشكل السفلي)

تكون المادة المتفسفرة مستقرة عند تعرضها لاشعة الما بعد البنفسجية الشديدة ودرجة حرارة الغلاف المرتفعة وأن تكون كفاءتها الاستثنائية عالية عند درجة الحرارة هذه . وبالإضافة الى ذلك يجب على المادة أن تشع أساسا اللون الاحمر الغير متواجد في الطيف الاشعاعي للزئبق . وهذه الخواص غير متوفرة في عدد كبير من المواد المتفسفرة المستخدمة في المصابيح الفلورية . ويبين الجدول التالي تأثير المادة المتفسفرة على خواص مصباح زئبق ذات ضغط عالي قدرته 250 وات :

المادة المتفسفة	الفيض الضيايى (لومن)	دليل أمانة نقل الالوان
— —	11750	15
Magnesium germanate	11100	30
Alkaline earth orthophosphate	12400	25
Europium - activated yttrium phosphate vanadate	13500	40

وتصنع مصابيح الزئبق ذات اللون المحسن بمقنرات تتراوح بين 50 و 1000 وات/ 220 فولت وبقدرة 2000 وات/ 380 فولت. ويبين الشكل (3 — 28) موازنة الطاقة لمصباح زئبق ذات اللون المحسن قدرته 250 وات .

ويوجد أيضا نوع من مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى بغلاف متفسفر تعرف بمصابيح «دى لوكس» (deluxe h.p.m.v. lamps) ضوءها أبيض دافىء ولها دليل أمانة نقل الالوان يصل الى 50 . والاختلاف الوحيد بين هذه المصابيح والمصابيح المتفسفة العادية هو فى كثافة الطبقة المتفسفة حيث تكون بين ثلاثة وأربعة أضعاف الكثافة العادية . وتصنع هذه المصابيح بمقدرات واطية تتراوح بين 80 و 400 وات/ 220 فولت .

ويستخدم المصباح ذات الغلاف المتفسفر العادى للاضاءة الخارجية وخاصة لانارة الشوارع أما المصباح الدى لوكس فنظرا لضوئه المريح وأمانته الجيدة فى نقل الالوان فيستخدم لاضاءة المراكز التجارية والمناطق السكنية وكذلك للاضاءة الداخلية فى الورش والمصانع . ويتراوح عمر مصباح الزئبق ذات الضغط العالى بين 16000 و 24000 ساعة على حسب قدرته الواتية والضيايية ولا يتأثر بعدد عمليات البدء اذا كان عدد ساعات الاضاءة بين كل عملية فى حدود الساعتين .

6.3.3 المصباح ذات الضوء المولف (Blended light lamps)

يحتوى الغلاف المتفسفر لهذا المصباح على فتيلة من التنجستن موصلة على التوالى بأنبوبة التفريغ الزئبقى . وتوهج الفتيلة عند اضاءة المصباح يؤدى الى

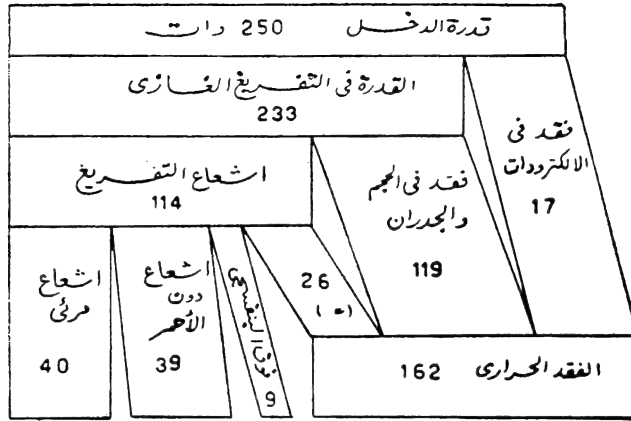
ارتفاع كبير فى مقاومتها وبالتالي الى الحد من قيمة التيار المار فى الانبوبة التفريغ ولذلك فالمصباح ليس فى حاجة الى كابح تيار خارجى خاص به، ويمكن توصيله بالمنبع مباشرة •

وتوزع القدرة الكلية للمصباح بين أنبوبة التفريغ والفتيلة بنسبة واحد الى اثنين • وحيث أن القدرة الضيائية الناتجة عن التفريغ هى حوالى 40 لومن/وات والناتجة عن الفتيلة هى 10 لومن/وات نجد أن ثلثي الفيض الضيائي ينبع من التفريغ والثلث فقط ينبع من الفتيلة • وتصمم الفتيلة بحيث تعمل عند درجة حرارة منخفضة لكى يحتوى ضوءها على نسبة كبيرة من الضوء الاحمر مما يجعل الضوء الكلى الناتج من هذا المصباح مريحا للعين من حيث المظهر وله أمانة نقل ألوان جيدة (70).

وأهم استخدام لهذا المصباح هو كبديل للمصباح المتوهج وذلك للأسباب الاتية : (أ) رغم انخفاض القدرة التأثيرية الضيائية (وهى حوالى 25 لومن/وات) اذا ما قورن بمصباح الزئبق العادى ، الا أن هذه القدرة مازالت ضعف قدرة المصباح المتوهج (ب) نتيجة لانخفاض درجة الحرارة التى تعمل عندها الفتيلة يصل عمر المصباح الى ستة أضعاف عمر المصباح المتوهج أى 6000 ساعة (ج) يمكن استبدال المصباح المتوهج بمصباح ذات الضوء المولف بدون الحاجة الى اجراء أى تعديلات فى التوصيلات الكهربائية أو تغيير قاعدة المصباح أو ناشر الضوء الخاص به • وتتراوح مقدرات هذه المصابيح بين 160 و 1000 وات / 220 فولت •

7.3.3 مصباح الهاليد المعدنى

الهاليد المعدنى هو مركب ثنائى العنصر لاحت الهالوجينات وعنصر معدنى • والهالوجين المستخدم بدون استثناء فى هذا النوع من المصابيح هو اليود أما العنصر المعدنى فقد يكون الصوديوم أو الثاليوم أو الانديوم أو السكندنيوم أو الديسبروسيوم (الهاليد المناظر لهذه المعادن هو يوديد الصوديوم ، يوديد الثاليوم الخ •) • وتستخدم هذه الهاليدات كوسيلة لادخال العنصر المعدنى فى التفريغ القوسى ذات الضغط العالى حيث لا يمكن رفع درجة حرارة أنبوبة التفريغ الى درجة تبخر هذه المعادن وانما يمكن رفعها الى درجة حرارة تبخر أملاح هاليد هذه المعادن • وبادخال العناصر المعدنية المناسبة فى التفريغ



(*) اشعاع مرئي وفوق البنفسجي محور كهرارة

شكل 3 — 28 موازنة الطاقة لمصباح زئبق ذات اللون المحسن قدرته 250 وات

القوسى يمكن الحصول على منبع للضوء له أمانة نقل ألوان ممتازة (70 — 90) وقدرة تأثيرية ضيائية عالية (70 — 100 لومن/وات) • والمصابيح الحديثة لا تحتوى على يوديد معنقى واحد وانما على مخلوط متوالف من عدة يوديدات معدنية وذلك لتحسين اتزان الالوان فى الجزء المرئى من طيف الضوء • فمثلا يحتوى الطيف الناتج عن كل من الصوديوم (589 نانومتر) أو الثاليوم (535) أو الانديوم (435) على خط رئيسى واحد فى حين أن طيف السكندنيوم أو الثوريوم أو الديسبروسيوم يحتوى على عدد كبير من الخطوط موزعة على مدى الطيف المرئى • وأكثر المخلوطات المتوالفة استخداما هى الاتية : (أ) يوديد كل من الصوديوم والثاليوم والانديوم (ب) يوديد كل من الديسبروسيوم والثاليوم (ج) يوديد كل من الصوديوم والسكندنيوم • وجدير بالذكر أن المخلوط الأخير يمتاز عن الآخرين من حيث القدرة التأثيرية الضيائية وأمانة نقل الالوان •

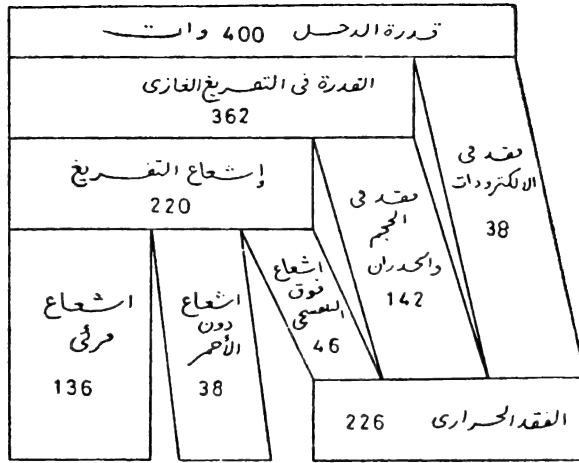
لا يختلف الشكل العام لهذا المصباح عن شكل مصباح الزئبق ذات الضغط العالى الذى سبق وصفه فى الفقرة السابقة فهو يتكون أساسا من أنبوبة تفريغ مصنوعة من زجاج الكوارتز ومحاطة بغلاف زجاجى اما بيضى الشكل وسطحه الداخلى مكسو بطبقة من مادة متفسفرة أو أنبوبى الشكل ومصنوع من الزجاج الصافى • وأنبوبة التفريغ مزودة بالكترود من التنجستن عند كل من طرفيها

والكترود بدء بجوار أحدهما (شكل 3 — 26) وتحتوى الأنبوبة على غاز خامل يساعد على بدء المصباح ، وعلى كمية من الزئبق ومن الهاليد المعدنى •

وبعد انتقال التوصيل فى القوس الكهربى من الغاز الخامل الى بخار الزئبق (انظر فقرة 1.3.3) ترتفع درجة حرارة جدار الأنبوبة ويبدأ الهاليد المعدنى فى التبخر وينتقل هذا البخار عن طريق الحمل والانتشار الى قلب القوس الكهربى الشديد الحرارة فينتفك الى هالوجين ومعدن • ونتيجة للتصادمات التى تحدث بين ذرات المعدن والالكترونات الحرة تستثار ذرات المعدن الى الحالات الالكترونية التى ينبعث منها الاشعاع الطيفى المميز لهذه الحالات • وتعود ذرات المعدن والهالوجين نحو المناطق الاكثر برودة حيث تتحد ثم تبدأ هذه الدورة من جديد •

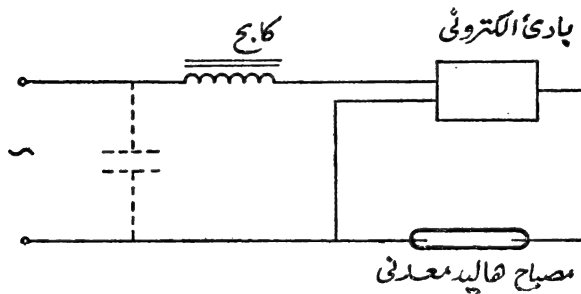
ورغم تشابه مصباح الهاليد المعدنى ومصباح الزئبق من حيث المظهر ، الا أن هناك عدة تعديلات قد أدخلت فى تصميم مصباح الهاليد : (أ) أنبوبة التفريغ أصغر حجما من أنبوبة مصباح زئبق له نفس الواتية وأطرافها مطلية بطبقة عاكسة • وهذان التعديلان ضروريان لرفع درجة الحرارة التى تصل اليها الأنبوبة عند التشغيل وذلك للتأكد من وجود تبخر كاف للهاليد المعدنى (ب) يحتوى المصباح على نظام (مفتاح ثنائى المعدن أو شبه موصل ثنائى) يقوم — بعد اضاءة المصباح — اما بتوصيل الكترود البدء بالالكترود المجاور له أو بفصل دائرة الكترود البدء • فقد وجد أن ذلك ضرورى لمنع التحلل الالكترولى لزوج الكوارتز المنحصر بين الالكترونات خاصة فى المصابيح التى تحتوى على هاليد الصوديوم • (ج) فى بعض المصابيح يتم التوصيل الكهربى للالكترود القريب من قبة المصباح بواسطة سلك صغير مقوس فى اتجاه الأنبوبة الخارجية لابعاده عن أنبوبة التفريغ • فقد وجد أنه اذا كان هذا السلك قريبا من الأنبوبة تتكون على سطحها شحنة من الالكترونات المنبعثة من السلك تحت تأثير الضوء • ويؤدى وجود هذه الشحنة الى الهجرة الالكترولى للصوديوم عبر جدار أنبوبة التفريغ •

ويبين الشكل (3 — 29) رسم موازنة الطاقة بالنسبة لمصباح يوديد السكندنيوم والصوديوم قدرته 400 وات •



شكل 3 — 29 موازنة الطاقة لمصباح يودييد السكانيديوم والصوديوم قدرته 400 وات.

ان طريقة بدء المصباح لا تختلف عن طريقة بدء مصباح الزئبق ولكن نظرا لوجود الهاليد المعدني فتحتاج هذه المصابيح الى جهد بدء أعلى من جهد المنبع ولذلك فان الدائرة الكهربائية لهذه المصابيح تحتوي (بالإضافة الى كابح للتيار) على بادئ الكتروني خاص يقوم بتوليد سلسلة من نبضات جهد عالي (600 — 700 فولت) ثم ينفصل تلقائيا عن الدائرة عند اشتعال المصباح (شكل 3—30). ويحتاج المصباح الى ما بين خمس وست دقائق لكي يعطى 80% من اضاءته الذروة. واذ انطفأ المصباح فهو يحتاج الى فترة قد تصل الى 15 دقيقة قبل إعادة اشعاله وهي أطول من الفترة اللازمة في حالة مصباح الزئبق . والسبب



شكل 3 — 30

فى ذلك هو أن درجة حرارة أنبوبة مصباح الهاليد أعلى من درجة حرارة أنبوبة مصباح الزئبق ولذا فهى تحتاج الى وقت أطول لكى تبرد وينخفض ضغط البخار الى القيمة التى تسمح باعادة الاشعال •

أما عمر المصباح فهو حوالى 7000 ساعة وهو أقل بكثير من عمر مصباح الزئبق • ويرجع ذلك الى الاختلاف فى نوع المادة الابتعائية المستخدمة فى كسو الالكترودات • فالمادة المستخدمة فى مصابيح الزئبق لها معدل تبخر بطيء ولكن لا يمكن استخدامها فى مصابيح الهاليد نظرا لتفاعلها الكيمائى مع اليود فى حين أن المادة الصالحة للاستخدام فى مصابيح الهاليد لها معدل تبخر كبير نسبيا •

ومقدرات مصابيح الهاليد المعدنى التى تصنع حاليا هى 220 ، 360 ، 1000 وات / 220 فولت بالنسبة للمصابيح ذات الغلاف البيضى الشكل (متفسفر) أو الانبوبي الشكل (صاف) ، و 2000 ، 3500 وات / 380 فولت بالنسبة فقط للمصابيح ذات الغلاف الانبوبي •

تستخدم مصابيح الهاليد المعدنى ذات واتية 250 أو 360 (مع ناشر ضوء مناسب) لاناارة الاماكن الخارجية أو الداخلية التى تحتاج الى أمانة نقل ألوان عالية وقدرة ابتعائية ضيائية عالية • أما المصابيح ذات الواتية العالية فهى تستخدم أساسا لاناارة الملاعب الكبيرة بشدة اضاءة عالية (وهى ضرورية بالنسبة للتليفزيون الملون) وأيضا لاناارة الملاعب الصغيرة حيث يمكن الحصول على مستوى الاضاءة المطلوب بعدد صغير من المصابيح •

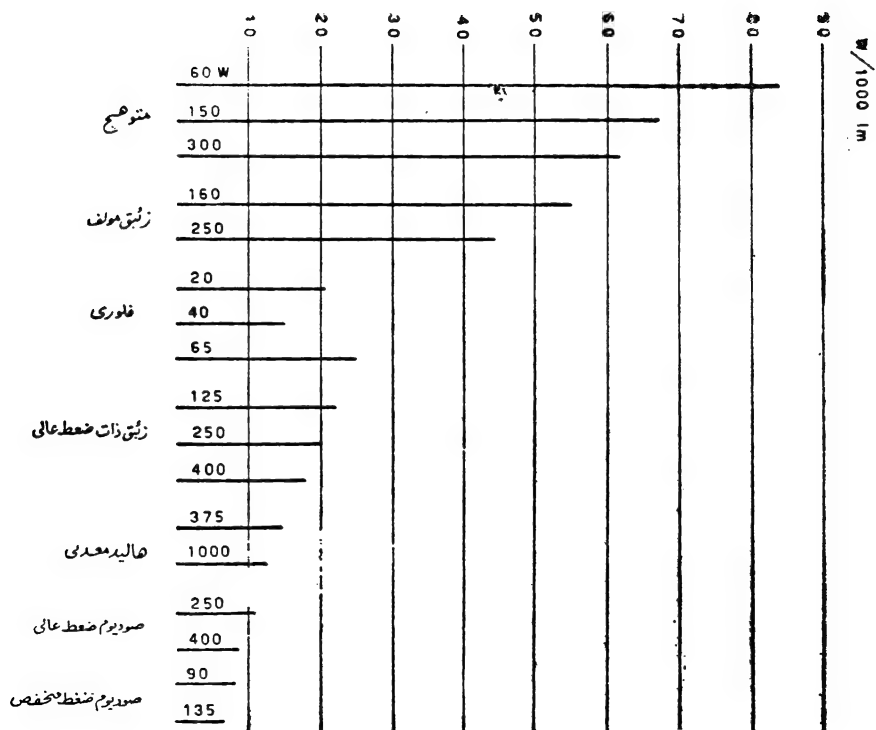
4.3 ملخص

يجدر بنا أن ننهى هذا الباب بملخص نقارن فيه أهم خاصيتين لجميع أنواع المصابيح هما القدرة التأثيرية الضيائية ودليل أمانة نقل الاوان • ويبين الجدول التالى هذه المقارنة الا أنه يجب أن ننبه القارئ أنه نظرا للتقدم التكنولوجى والعلمى السريع فان جميع الارقام المبينة فى هذا الجدول فى تغيير مستمر والى الاحسن •

جدول 2.3 ملخص للقدرة الضيائية ودليل أمانة نقل الالوان للمصابيح المختلفة

نوع المصباح	الاستخدام النموذجي	القدرة الضيائية (لومن/وات)	دليل الالوان
متوهج عادي	الاضاءة المنزلية	13	100
متوهج عالي القدرة	اضاءة داخلية على ارتفاعات كبيرة	18	100
تنجستن - هالوجين	الاضاءة الغامرة	21	100
زئبق ذات ضوء مولف	بديل للمصباح المتوهج	20	70
زئبق ذات ضغط عالي	اضاءة الشوارع والاضاءة الداخلية فى المصانع	55	40
هاليد معدنى	اضاءة داخلية فى المصانع	75 — 100	70 — 90
فلورى	اضاءة عامة	80 — 90	55 — 85
صوديوم ذات ضغط عالي	اضاءة الشوارع والمناطق التجارية	115	20
صوديوم ذات ضغط منخفض	اضاءة الشوارع	185	— 45

واذا أردنا أن نقارن بين المصابيح المختلفة من وجهة نظر استهلاكها للطاقة الكهربائية فيتم ذلك بمقارنة معكوس قيمة القدرة الضيائية أى مقارنة عدد الوات لكل لومن • ويعطى الشكل (3 - 31) هذه المقارنة لانواع المصابيح المختلفة على أساس الوات لكل ألف لومن •



شكل 3 — 31 مقارنة بين القدرة الكهربائية المستهلكة وات/ 1000 لومن
لأنواع المصابيح المختلفة

الفصل الرابع

الاضاءة الداخلية

1.4 مقدمة :

ترتبط الاضاءة الداخلية للمباني الجديدة ارتباطا وثيقا بالشكل المعماري للمبنى ولذلك يجب أن يكون هناك منذ البداية تعاون بين المهندس المعماري (ومهندس تكييف الهواء اذا احتاج الامر) من ناحية ومهندس الاضاءة من ناحية أخرى • ويحتاج مهندس الاضاءة الى لوحات تبين المساقط الافقية والمقاطع المختلفة لكل الاماكن المراد اضاءتها وكذلك تفاصيل الاسقف فقد تكون الاضاءة غير مباشرة أو متكاملة مع نظام مسالك التكييف (Integrated Ceiling System)

ويقوم مهندس الاضاءة بعمل ترتيبات وضع المواسير التي تحمل الاسلاك المستخدمة لنقل الطاقة الكهربائية وذلك قبل صب الخرسانات الخاصة بالاسقف والاعمدة والكمرات وما الى ذلك • ويجب أيضا أن تتوافر لدى مهندس الاضاءة ألوان دهانات الحوائط والاسقف فى الغرف المختلفة بالإضافة الى نوع الارضيات وكذلك الاستخدامات المختلفة لكل من هذه الغرف •

2.4 متطلبات الاضاءة

تعتمد أساسا كمية ونوعية الاضاءة المطلوبة لانهارة مساحة ما على الغرض من استخدام هذه المساحة وعلى نوع العمل الذى سيتم فيها والمهام الابصارية المرتبطة بهذا العمل فقد تكون المساحة مخصصة لتنفيذ أعمال أو أشغال معينة أو لعرض السلع والأعمال الفنية أو للاعاشة أو مخصصة لغرض المرور من منطقة الى أخرى مثل المداخل والممرات والسلالم ... الخ •

ففى الاماكن المخصصة للعمل الهدف هو اعطاء اضاءة كافية للرؤية الجيدة داخل المكان وخاصة على مستوى التشغيل • ويعتبر مستوى التشغيل بأنه مستوى مساحته مساوية لمساحة أرضية الغرفة ومرتفع عنها بمسافة تتراوح بين 70 و 90 سنتيمتر •

وفى المساحات التى تستخدم لعرض السلع أو المعروضات يجب اختيار الاضاءة بحيث تظهر هذه المعروضات فى أفضل وضع لها • وفى واجهات العرض للمتاجر يجب أن يكون تصميم الاضاءة فعال بحيث تظهر السلع المعروضة فى وضع جذاب وهذا يتم باستخدام مستوى على للنصوع أو باستخدام اضاءة مركزة من مصابيح خاصة أو باستخدام منابع ضوئية ملونة ومركزة فى نفس الوقت • أما فى المتاحف وصلات الفنون الجميلة فيجب أن تظهر الاضاءة الالوان الحقيقية للتحف المعروضة وفى نفس الوقت يجب اختيار شدة الاضاءة بحيث لا تتسبب فى أى تغيير أو بهتان لالوانها نتيجة لتعرضها للاضاءة لفترات طويلة •

وفى المساحة المخصصة للاعاشة يكون الطابع الجمالى للاضاءة والراحة الابصارية هما أهم العناصر التى يتحدد على أساسها نوع الاضاءة • أما فى المساحات المخصصة للاتصال فالغرض الاساسى من الاضاءة هو التوجيه والامان • أما بالنسبة للسلام مثلاً فان الاستضاءة الرأسية قد تكون أهم من الاستضاءة الافقية •

3.4 البهر (Glare)

إذا زاد نصوع جسم ما فى مجال الرؤية فقد يؤدي ذلك اما الى تعذر الرؤية أو الى اجهاد بصرى وفى كلتا الحالتين يقال أن العين تعاني من البهر الضوئى • ورغم أن عين الانسان تستطيع أن تكيف نفسها للرؤية على مدى واسع من النصوع قد تصل النسبة بين أقل درجة نصوع وأعلى درجة الى عدة آلاف الا أنه عند كل درجات النصوع هناك حدود للرؤية الواضحة • فعند درجات النصوع الضعيفة لا تظهر دقائق الجسم المراد رؤيته أما اذا كان النصوع شديداً فلا تشعر العين بالراحة عند ملاحظة دقائق الجسم • وقد يكون النصوع من الشدة بحيث تفقد العين القدرة على متابعة رؤية الجسم بوضوح • وينقسم البهر الى نوعين : البهر المعوق (Disability Glare) وهو البهر الذى يؤثر على الادراك البصرى بحيث تصبح الرؤية غير واضحة و البهر المزعج (Discomfort Glare) وهو الشعور بعدم الارتياح بعد التواجد لفترة من الزمن فى مكان به كمية صغيرة من البهر •

والبهر المزعج هو أهم النوعين بالنسبة للاضاءة الداخلية ويعتد أساسا على العوامل الاتية :

- أ) نصوع منابع الضوء
- ب) عدد منابع الضوء وحجمها الظاهرى
- ج) النصوع العام للمنطقة المحيطة بمجال الرؤية (نصوع الخلفية) .
- د) موضع مصدر الضوء بالنسبة لمجال الرؤية .

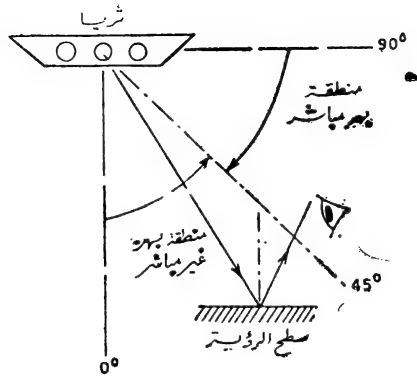
ويمكن تقسيم كلا النوعين من البهر الى بهر مباشر (Direct Glare) وبهر غير مباشر أو منعكس (Reflected Glare) . والبهر المباشر هو البهر الناتج من المنابع والاسطح الشديدة النصوع مثل الفوانيس والثريات والاسقف والنوافذ التى تقع خارج مجال الرؤية . أما البهر المنعكس فهو البهر الناتج عن الانعكاسات المنتظمة من الاسطح المصقولة فى مجال الرؤية أو تكون مجاورة له .

ويبين الشكل (4 — 1) البهر المباشر وغير المباشر من ثريا معلقة . البهر المباشر ناشئ من المنبع نفسه أما الغير مباشر فهو ناشئ بسبب انعكاس الضوء من السطح الافقى اللامع ويتوقف هذا النوع من البهر على العوامل الاتية:

- أ) درجة نصوع الجسم .
- ب) معامل انعكاس سطح الجسم والاشياء المحيطة به .
- ج) اتجاه الضوء المنعكس من السطح أو الاسطح المجاورة .
- د) كمية الضوء الساقط فى اتجاه مشاهدة الجسم .
- هـ) حجم الجسم المشاهد .

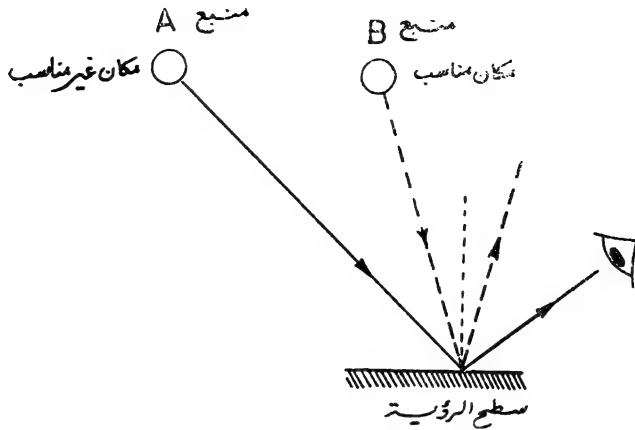
ويجب أخذ هذه العوامل والعوامل التى سبق ذكرها فى الاعتبار حتى نشعر بالراحة عند رؤية الاشياء . ولتحقيق ذلك يجب مراعاة النقاط التالية :

- أ) يجب ألا تكون درجة نصوع الجسم والخلفية متساوية .
- ب) يفضل أن يكون انعكاس الجسم للضوء أكبر من انعكاس الخلفية المحيطة به .



شكل (4 - 1)

ج) يجب أن توضع المصابيح في أماكن مناسبة داخل الحيز المضاء فمثلاً يبين شكل (4 - 2) منبعين للضوء أحدهما في مكان مناسب والآخر في مكان غير مناسب بالنسبة للسطح أو الجسم المراد رؤيته .



شكل (4 - 2)

د) يجب أن تكون الاضاءة بحيث يسقط الضوء على الجسم من اتجاهات عديدة ويتم ذلك باستخدام عدد من المصابيح موضوعة في أماكن مختلفة .

هـ) يجب الاخذ في الاعتبار مصادر الاضاءة الطبيعية مثل النوافذ ، وكمية الضوء الطبيعي داخل الغرفة . فقد تكون الاضاءة الناشئة من النافذة مثلاً مصدراً للبهل فنجد أن قيمة نصوص السماء التي يبدأ عندها الاحساس بالبهل هي 2000

جدول 4 - 1 قيم الاستئصال الموصى بها في الأماكن المختلفة

أقل استئصال (لوكس)	المكان	أقل استئصال (لوكس)	المكان
			(1) صالة عرض فنية
1000	مكتب تقطع التذاكر	300	عامة
1000	المحاسب	300	للمرسومات
300	غرفة راحة	1000	بها تماثيل ومعرضات
200	أرصفتة	150	صالة لتجمع الجمهور
200	أماكن رفع العفش	300	معرض
200	سلالم متحركة	300	محل عرض سيارات
	(6) الجراجات وخدمة السيارات		(2) بنك
1000	تصليح	500	دهليز
200	منطقة نشطة بالمرور	700	مساحة بها كتبة
500	مدخل الجراج	1500	مكتب صيارفة
50	خطوط انتظار السيارات	1500	مكتب بريد
	(7) المستشفيات :	100	مكاتب عادية
300	غرف التحضير والبنج		(3) محكمة
1000	غرف العمليات : عام	300	مكان جلوس الجمهور
20000	موضعي	700	مكان المرافعات
500	غرف فحص : عام	200	الممرات
1000	موضعي		(4) غرف رسم
300	معامل : عام		رسم تخطيطي ابتدائي
1000	موضعي	1500	رسم دقيق
300	عناية مركزة : عام	2000	
1000	موضعي		(5) المحطات
	غرف المرضى		غرف انتظار
200	عام		
300	قراءة	300	

أقل استضاءة لوكس	المكان	أقل استضاءة لوكس	المكان
	(11) المتاحف وصالات العروض الفنية	1000	فحص
		5	ليلى
2000	غرف تصميم وتخطيط	300	الحمام
1000	مكاتب	1000	غرف تشريح : عام
700	كتابة	10000	موضعي
	ممرات وسلالم	300	الممرات أثناء النهار
200	ومصاعد	30	أثناء الليل
	(12) مكاتب البريد	300	(8) الفنادق
300	غرفة الصراف	300	غرفة استحمام
1000	غرفة فرز الخطابات	200	غرفة كتابة
	(13) عيادات عامة	300	ممرات وسلالم
300	غرفة استقبال	200	مداخل
150	غرفة انتظار	750	غرف البياضات
300	غرفة قراءة	300	غرف خياطة
500	فحص وعلاج		منطقة قراءة
1000	مائدة فحص	700	(9) مكاتب
10000	كرسي فحص أسنان	500	غرفة مذاكرة
1000	معمل	500	غرفة قراءة عادية
500	غرفة فحص عيون	500	تصليح كتب
		700	وتجليدها
		700	كتالوجات
		700	مكان ترتيب كروت
		700	مائدة مراجعة
	(14) مطاعم وغرف نداء		(10) أقسام البوليس والبلدية والأطفاء
500	غرفة الصراف		غرفة تعارف
200	غرفة النظافة	800	غرفة سجن
1000	خدمة سريعة	300	غرفة اطفاء (مخزن)
500	عرض طعام	300	غرفة السيارات
700	مطبخ		الخاصة بالأطفاء
1000	غرفة غذاء	300	

أقل استضاءة لوكس	المكان	أقل استضاءة لوكس	المكان
750	غرفة خياطة ورفا		(15) المدارس
500	غرفة طبخ	300	قراءة كتاب مطبوع
700	غرفة شاي	700	قراءة كتابة بالقلم
500	غرفة موسيقى (عزف)		الرصااص
500	غرفة مذاكرة	1000	غرفة شف رسم
300	غرفة سماع موسيقى	1000	غرفة رسم تخطيطي
	مسجلة	750	غرفة خياطة
500	غرفة تواليت	1000	فصل دراسي
100	غرفة حمام	1200	السبورة
300	غرفة اعاشة	400	غرفة سكرتارية
100	سلالم	500	غرفة معمل
250	غرفة انتظار	200	غرفة مخزن
100	ممرات	700	غرفة آلة كاتبة
10	غرفة نوم أطفال أثناء النوم	500	صالة لعب كرة سلة
100	ممر خروج		أو فولي
150	غرفة نوم	500	صالة ألعاب رياضية
500	غرفة كي ملابس		(16) منازل سكنية
		300	غرفة مكتب

كندلا/م² تقريبا وهي تناظر استضاءة أفقية قيمتها حوالى 10000 لوكس والطريقة الوحيدة للاقلال من هذا النصوص هي استخدام ستارة أو مصراع لحجب ضوء النافذة .

4.4 كمية الاستضاءة :

يعطى الجدول (4 — 1) الاستضاءة المناسبة بوحدات اللوكس داخل الاماكن والحيزات المختلفة وهذه القيم منتقاة نتيجة للتجربة والمشاهدة فى المعمل وهى مرتبطة بالاجسام أو الاشياء المراد مشاهدتها * والارقام المعطاة هى الحدود الصغرى لشدة الاستضاءة داخل هذه الاماكن بغض النظر عن مكان

الجسم داخل الغرفة والحيز المعين • ويجب الاخذ لآ الاعتبار أن مستوى الاضاءة قد ينخفض نتيجة لعوامل كثيرة منها مثلاً تقادم عمر الثريات المستخدمة أو تغيير معاملات انعكاس الحوائط نتيجة تغيير ألوانها أو اتساخها •

5.4 انظم المختلفة لتوزيع الاضاءة

تصنف نظم الاضاءة على حسب كمية الاستضاءة الموجهة الى أسفل الثريات فى اتجاه مستوى التشغيل وكمية الاستضاءة الموجهة الى أعلى حيث تنعكس على الاسقف وتتناثر بانتظام داخل الغرفة أو الحيز المراد اضاءته • ويعطى الجدول (4 — 2) بيان انظم الاضاءة الموصى بها عملياً (أنظر شكل 4 — 3 ، 4 — 4)

جدول 4 — 2 نظم الاضاءة الموصى بها عملياً

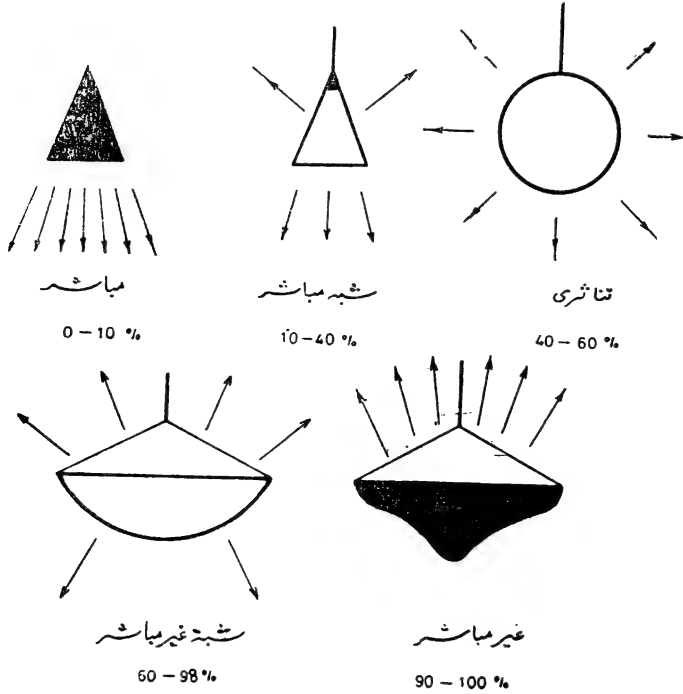
توزيع الاستضاءة الناشئة عن الثريا		نوع النظام
أعلى %	أسفل %	
90 — 100	0 — 10	غير مباشر
60 — 90	10 — 40	شبه غير مباشر
40 — 60	40 — 60	تتناثرى
10 — 40	60 — 90	شبه مباشر
0 — 10	90 — 100	مباشر

1.5.4 الاضاءة التناثرية

فى هذه الحالة تكون الاضاءة موزعة تقريبا بالتساوى بين النصف العلوى والنصف السفلى من الغرفة • وهذا النوع من الاضاءة يجمع بين الاضاءة المباشرة الغير مباشرة • ويناسب هذا النوع من الاضاءة الاجسام التى يراد اظهار أبعادها الثلاثة حيث تعطى تجسيماً لها • ويبين الشكل (4 — 4 أ) النموذج الضيائى لهذا النوع من الاضاءة •

2.5.4 الاضاءة شبه غير المباشرة

فى هذه الحالة يكون النموذج الضيائى للشدة الضيائية موجها نحو السقف مع وجود جزء ضئيل فى الاتجاه السفلى (شكل 4 — 4 ب) • ولا يصلح هذا النظام الضيائى اذا كان ارتفاع السقف كبيرا أو اذا كان لون السقف معتما • ويساعد الانعكاس المتتالى من حوائط الغرفة على انقاص البهر على سطح التشغيل • ويجب أن يكون السقف سطحا تناثرى له معامل انعكاس لا يتغير بمرور الزمن •



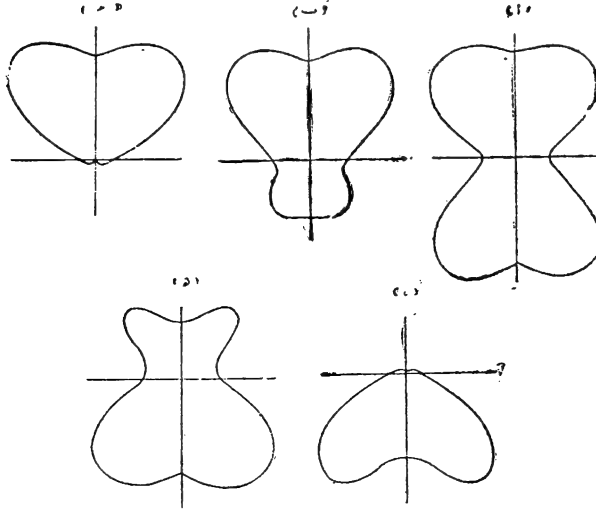
شكل 4 — 3

3.5.4 الاضاءة غير المباشرة

أحد الخصائص الأساسية لهذا النوع من الاضاءة هو أن الشدة الضيائية للنموذج الضوئى للمنبع تنعدم فى جميع الاتجاهات السفلية كما هو مبين بالشكل (4 — 4 ج) • فنجد أن نصوع المنبع أقل ما يمكن بالنسبة للمشاهد ولا يصاحب هذا النوع من الاضاءة أى خيالات أو ظلال ولذلك فهو لا يستخدم فى المتاحف والمعارض ولا يصلح لرؤية الاجسام الدقيقة •

4.5.4 الاضاءة المباشرة

فى هذه الحالة تتركز كل الطاقة الضوئية الى أسفل (شكل 4 — 4 د) وهذا النوع من الاضاءة يستخدم فى الورش والمخازن ولاضاءة الاشغال الدقيقة مثل تركيب وتصليح الساعات والآلات الدقيقة والتفصيل والحياسة حيث تكون الاستضاءة عالية على أسطح التشغيل وتكون الفوانيس فى هذه الحالة ذات مصابيح من نوع الفتيلة داخل عواكس معدنية مطلية بمواد لامعة مناسبة • والاضاءة المباشرة ضرورية فى غرف العمليات الجراحية ومراكز تجميع الآلات الدقيقة حيث تصل الاستضاءة الى 1000 لوكس أو أكثر •



شكل 4 — 4

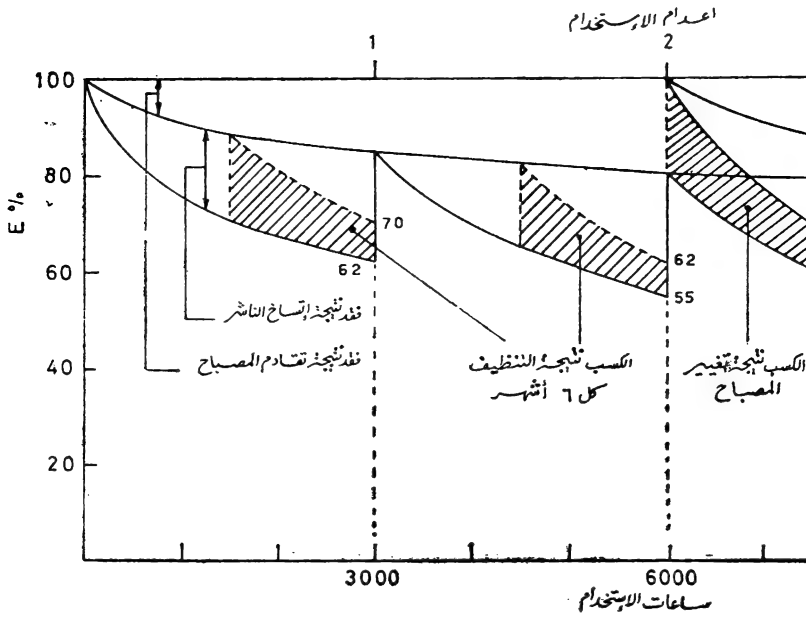
5.5.4 الاضاءة شبه المباشرة

فى هذا النوع تتركز الاضاءة فى الاتجاه الاسفل بنسبة قد تصل الى 90% من الطاقة الضيائية الكلية للمنبع (شكل 4 — 4 هـ) وفى هذه الحالة تكون لالوان الحوائط والاثاث تأثير كبير على الاضاءة عن طريق انعكاس وتناثر الضوء منها • هذا النوع من الاضاءة مناسب للغرف السكنية والممرات والمعامل •

6.4 ثبات مستوى الاضاءة

ينخفض مستوى الاستضاءة تدريجيا مع مرور الزمن • ويرجع ذلك الى سببين : السبب الاول هو الانخفاض فى الفيض الضيائي الخارج من المصباح

نتيجة لتقادمه والسبب الثانى هو تراكم الاتربة أو أنواع أخرى من التلوث على سطح المصباح نفسه وعلى سطح ناشر الضوء الخاص به وأيضا على جميع أسطح الحيز المضاء وخاصة على السقف والحوائط مما يقلل من كمية الضوء المنعكس منهم • (وهذا له تأثير كبير عندما تكون الاضاءة غير مباشرة أو يكون حجم الحيز المضاء صغيرا) • ولذلك فانه يجب تنظيف جميع الاسطح من وقت لآخر للاحتفاظ بمستوى مقبول للاضاءة • ويبين الشكل (4 - 5) تأثير التنظيف الدورى وكذلك تغيير المصباح على الاستضاءة الناتجة من نظام اضاءة يستخدم مصابيح فلورية • وعند تصميم أى نظام للاضاءة يجب الاخذ فى الاعتبار الانخفاض فى مستوى الاضاءة مع الزمن باختيار قيم للاستضاءة أعلى من القيم المطلوبة • وقد تعتمد هذه القيم على نظام الصيانة المتفق عليه بين المصمم وصاحب الشأن والذى يجب الالتزام به للمحافظة على مستوى الاستضاءة المطلوبة •



شكل 4 - 5

وجدير بالذكر أنه يمكن الاقلال من تراكم الاتربة على المصابيح وفواشر الضوء باستخدام تهوية مناسبة فى الناشر نفسه تعتمد على تيارات الحمل الحرارى لابعاد الاتربة من سطح الناشر العاكس للضوء •

جدول 4 — 3 أ
خواص بعض المواد العاكسة للضوء

المادة	النسبة المئوية للانعكاس	الخواص
انعكاس منتظم (p. cular)		
مرآة زجاجية	80 — 90	يمكن التحكم في اتجاه الانعكاس
مرآة بلاستيكية	75 — 85	من هذه المواد * ولذلك فهي
الومنيوم مصقول	60 — 70	تستخدم لاعطاء نيكور اضافي
كروم مصقول	60 — 65	مؤثر
صلب غير قابل للصدأ	55 — 65	
زجاج ذات لون اسود	5	
افتراش (Spread)		
الومنيوم تناثرى	70 — 80	هذه المواد تفرش الضوء وتعكس
كروم ساتينى	50 — 55	جزءا منه انعكاسا منتظما
الومنيوم مطفى	55 — 58	
صينى	60 — 90	
دهان الومنيوم	60 — 70	
انتشار (Diffuse)		
جص أبيض	90 — 92	في هذه الحالة تظهر المادة العاكسة
دهان أبيض	75 — 90	مضاءة بانتظام في كل الاتجاهات
زجاج مسنفر	75 — 80	ولذلك تستخدم هذه المواد في كثير
حجر جيرى	35 — 65	من الاحيان لاعطاء خلفية مضاءة

جدول 4 — 3 ب
خواص بعض المواد النفاذة للضوء

المادة	النسبة المئوية للنفاذ	الخواص
الزجاج		
زجاج نقي	80 — 90	1 - الامتصاص بسيط • والنفاذ مركز 2 - تستخدم كغطاء واقى لبعض المصابيح
زجاج مصنفّر	75 — 80	3 - الامتصاص بسيط يستخدم فى غطاء المصابيح لاعطاء بعض الاضاءة الخفية
زجاج صينى	15 — 40	4 - معامل الامتصاص كبير نسبيا • 5 - واد انتشار جيدة ولذلك تستخدم لاعطاء فرش متساوى •
البلاستيك		
عدسات بلاستيكية	70 — 92	1 - امتصاص بسيط بغير انتشار
بلاستيك أبيض	30 — 70	2 - يستخدم كواقى للمصابيح الفلورية 3 - معامل الامتصاص كبير نسبيا
بلاستيك ملون	0 — 90	4 - يستخدم كغطاء للمصابيح الفلورية
الرخام		
	30 — 5	1 - معامل الامتصاص كبير نسبيا 2 - مادة ناشرة للضوء ممتازة
		3 - تستخدم فى نوافذ العرض
الالبستر		
	20 — 50	1 - لها امتصاص كبير وانتشار جيد 2 - يسقط الضوء عليها لاعطاء أشكال ديكورية مقبولة •

7.4 المواد العاكسة والمواد النفاذة للضوء

يبين الجدول (4 — 3 أ) خواص بعض المواد العاكسة للضوء أما الجدول (4 — 3 ب) فيعطى خواص بعض المواد التى ينفذ خلالها الضوء .

8.4 خطوات تصميم الاضاءة الداخلية

خطوات تصميم الاضاءة الداخلية تحتوى على ثمانية عشرة خطوة مقسمة الى أربعة مجموعات أساسية أ ، ب ، ج ، د ، كالاتى :

أ (الغرض من التصميم والمواصفات

1. نوعية المهام الابصارية
2. جودة الاضاءة المطلوبة
3. كمية الاضاءة المطلوبة
4. نوعية الجو المحيط بالمنطقة المراد اضاءتها من حيث درجة التلوث .
5. وصف المساحة والمنطقة المراد اضاءتها
6. اختيار المصابيح المناسبة

ب) عوامل تؤدي الى فقد ضوئى لا يمكن استعادته أو التحكم فيه بواسطة

الصيانة

7. درجة حرارة مصابيح الاضاءة
8. جهد مصابيح الاضاءة
9. عامل كابح التيار
10. تناقص الاضاءة الناتج عن تغيير طبيعة سطح ناشر الضوء

ج) عوامل تؤدي الى فقد ضوئى يمكن استعادته أو التحكم فيه بواسطة

الصيانة

11. مقدار اتساع سطح الاماكن المضاءة
12. احتراق المصابيح
13. انخفاض الفيض الضيائى المنبعث من المصابيح نتيجة للاستعمال (التقادم)

14. انخفاض الفيض النضائي المنبعث من ناشر الضوء نتيجة لاتساخه

د) الحسابات

15. عامل الفقد الكلى

16. تحديد عدد مصابيح الاضاءة وشدة كلا منها

17. تحديد أماكن مصابيح الاضاءة

18. مراجعة الاضاءة بعد التصميم

• ناقشنا الخطوات الثلاثة الاولى فى الاجزاء السابقة من هذا الفصل .

الخطوة الرابعة :

تتعلق هذه الخطوة بمدى تلوث الجو المحيط بالمكان المراد اضاءته ويمكن تصنيف مدى هذا التلوث الى خمس درجات

Very clean	(VC)	نظيف جدا
Clean	(C)	نظيف
Medium	(M)	متوسط
Dirty	(D)	متسخ
Very dirty	(VD)	متسخ جدا

الخطوة الخامسة :

فى هذه الخطوة نحصل على وصف كامل للمكان المراد اضاءته مثل ابعاد هذا المكان ومعاول انعكاس الحوائط المختلفة والسقف والارضية ووضع مستوى التشغيل وعدد ساعات التشغيل فى اليوم الواحد .

الخطوة السادسة :

يتم فى هذه الخطوة اختيار نوع المصابيح المناسبة على ضوء الخطوات الخمس السابقة مع الاخذ فى الاعتبار كل العوامل الاخرى مثل شكل المصابيح وتكلفتها .

الخطوة السابعة :

تختص هذه الخطوة بدراسة الحرارة المحيطة التي ستعمل فيها مصابيح الاضاءة • وقد لوحظ أن تغيير درجة حرارة الغرفة لا يؤثر على أغلب أنواع المصابيح الا المصابيح الفلورية فهي تتأثر بشدة بأي تغيير في درجات الحرارة المحيطة بها • كل وحدة مكونة من مصباح فلورى وناشر الضوء الخاص به لها منحني خصائصي مميز يبين العلاقة بين الفيض الضيائي ودرجة الحرارة المحيطة (الباب الثالث فقرة 2.3.3)

الخطوة الثامنة :

تختص هذه الخطوة بدراسة تغير خواص المصابيح المستخدمة مع التغيير في الجهد عن القيمة المقننة • فنجد مثلا أن المصابيح ذات الفتيلة المتوهجة تتأثر بشدة بتغيير الجهد المسلط عليها (شكل 3 — 5) فتغيير مقداره واحد في المائة في الجهد يؤدي الى تغيير كمية الفيض الضيائي مقداره ثلاثة في المائة في حين أن المصابيح الفلورية تعطى تغييرا مقداره واحد في المائة فقط في الفيض الضيائي نتيجة لتغيير مقداره اثنين ونصف في المائة في الجهد المقنن •

الخطوة التاسعة :

يتأثر الفيض الضيائي للمصباح بشدة اذا كان كـبـح التيار المستخدم في دائرة هذا المصباح غير مناسب •

الخطوة العاشرة :

ان أى تغيير في خواص المواد المستخدمة في صناعة ناشر الضوء يؤدي الى نقص في الفيض الضيائي الخارج منه • وقد لوحظ أن خواص الزجاج أو الصيني أو الالومنيوم لا تتغير مع الزمن بينما تتغير خواص المينا والدهانات الاخرى وجميع أنواع اللدائن الى حد ما مع الزمن غير أنه لا يوجد حتى الان أى عامل مناسب لاختـذ هذا التغيير في الاعتبار •

الخطوة الحادية عشر :

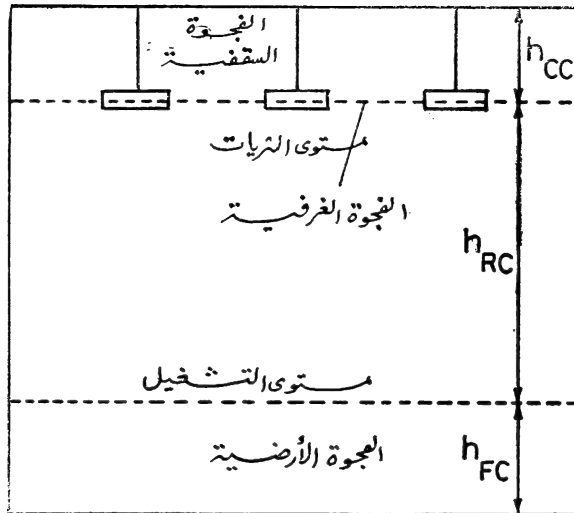
تختص هذه الخطوة بانخفاض مستوى الاضاءة نتيجة لاتساح حوائط

وسقف وأرضية الغرف المضاءة • فقد لوحظ أن تراكم الاتربة على حوائط وسقف الغرفة يؤدي الى انخفاض كمية الاضاءة المنعكسة من هذه الاسطح وبالتالي الى انخفاض الاضاءة داخل هذه الغرفة • ويعطى الجدول (4 — 4) قيمة عامل اتساخ الغرفة للنظم المختلفة لتوزيع الاضاءة بداخلها (فقرة 5.4) بدلالة النسبة الفجوية للغرفة (room cavity ratio) المعطاة في العمود الاول • ويمكن تعيين معامل الاتساخ (Room Surface Dirt Depreciation - RSDD) داخل الغرفة كما يأتي :

من الخطوة الرابعة يمكن تقدير مدى الاتساخ الذي ستتعرض له الغرفة • افترض أن مدى تلوث جو الغرفة هو من الدرجة الثالثة أى (D) وأنه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط والسقف والارضية كل أربعة وعشرين شهرا • باستخدام المنحنى المبين بأعلى الجدول (4 — 4) يمكن ايجاد المعامل المثوى المتوقع لمقدار فقد الاتساخ وقيمته 30%

النسب الفجوية للغرفة

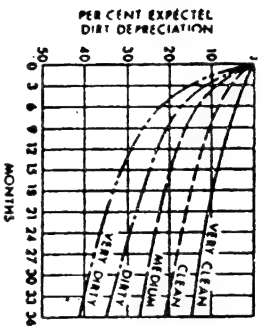
يعتمد تصميم الاضاءة الداخلية على النسب الفجوية للغرفة فتقسم الغرفة الى ثلاثة فجوات (انظر شكل 4 — 6) •



شكل 4 — 6

جدول 4 — 4 على انساخ العرقه

Room Surface Dirt Depreciation Factors



Luminaire Distribution Type

20 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 MONTHS																				
Per Cent Expected Dirt Depreciation	Direct				Semi-Direct				Direct-Indirect				Semi-Indirect				Indirect			
	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Room Cavity Ratio																				
1	.98	.96	.94	.92	.97	.92	.89	.84	.94	.87	.80	.76	.94	.87	.80	.73	.90	.80	.70	.60
2	.98	.96	.94	.92	.96	.92	.88	.83	.94	.87	.80	.75	.94	.87	.79	.72	.90	.80	.69	.59
3	.98	.95	.93	.90	.96	.91	.87	.82	.94	.86	.79	.74	.94	.86	.78	.71	.90	.79	.68	.58
4	.97	.95	.92	.90	.95	.90	.85	.80	.94	.86	.79	.73	.94	.86	.78	.70	.89	.78	.67	.56
5	.97	.94	.91	.89	.94	.90	.84	.79	.93	.86	.78	.72	.93	.86	.77	.69	.89	.78	.66	.55
6	.97	.94	.91	.88	.94	.89	.83	.78	.93	.85	.78	.71	.93	.85	.76	.68	.89	.77	.66	.54
7	.97	.94	.90	.87	.93	.88	.82	.77	.93	.84	.77	.70	.93	.84	.76	.68	.89	.76	.65	.53
8	.96	.93	.89	.86	.93	.87	.81	.75	.93	.84	.76	.69	.93	.84	.76	.68	.88	.76	.64	.52
9	.96	.92	.88	.85	.93	.87	.80	.74	.93	.84	.76	.68	.93	.84	.75	.67	.88	.75	.63	.51
10	.96	.92	.87	.83	.93	.86	.79	.72	.93	.84	.75	.67	.92	.83	.75	.67	.88	.75	.62	.50

Room cavity	فجوة الغرفة
Ceiling cavity	فجوة السقف
Floor cavity	فجوة الارضية

وتعين النسب الفجوية لهذه الفجوات الثلاثة من العلاقة

$$\text{cavity ratio} = 5 h (L + W) / (L \times W)$$

حيث

$h = h_{RC}$	(RCR)	للنسبة الفجوية للغرفة
$= h_{CC}$	(CCR)	للنسبة الفجوية للسقف
$= h_{FC}$	(FCR)	للنسبة الفجوية الارضية

و L هي طول الغرفة ، W عرضها بالامتار . ويلاحظ أن فجوتى السقف والغرفة تندمجان معا فى حالتى الاضاءة شبه غير المباشر وغير المباشر ، أى أنه فى هاتين الحالتين تكون h هي المشافة بين مستوى التشغيل وسقف الغرفة .

وبمعرفة المعامل المئوى المتوقع والنسبة RCR ونوع نظام الاضاءة المستخدم (مباشر ، شبه مباشر ، ٠٠٠) يمكن تعيين معامل اتساخ الغرفة فاذا كان نظام الاضاءة شبه مباشر ، $RCR = 3$ نجد أن الجدول يعطى قيمة معامل الاتساخ $RSDD = 0.87$

الخطوة الثانية عشر :

عندما يكون نظام الاضاءة جديدا فان معدل احتراق المصابيح يكون صغيرا جدا فى أول الامر ولكن مع تقادم النظام واقترب المصابيح من عمرها الافتراضى يزداد هذا المعدل زيادة كبيرة بحيث يؤدى الى انخفاض كبير فى مستوى الاستضاءة اذا لم يتم استبدال المصابيح المحترقة أول بأول . ولكن فى أى نظام للاضاءة فانه من الجائز أن يسمح بوجود عدد معين من المصابيح المحترقة فى الفترة ما بين عمليتى صيانة . ولذلك يعترف عامل احتراق المصابيح (Lampburnouts - LBO) بأنه النسبة بين المصابيح المضاءة فعلا والعدد الكلى للمصابيح وذلك لاقصى عند مسموح به من المصابيح المحترقة .

الخطوة الثالثة عشر :

هناك عدة عوامل متأصلة فى تصميم وتشغيل أى مصباح تؤدى الى تقادمه الى انخفاض مستمر فى الفيض الضيائى الذى يعطيه خلال عمره • ويعطى المصنع المنتج للمصباح العمر العملى لكل نوع من أنواع المصابيح • ويقصد بالعمر العملى للمصباح بأنه الفترة الزمنية التى يستخدم فيها المصباح بحيث لا تقل قدرته التأثيرية الضيائية فيها عن حد معين • وإذا نقصت عن هذا الحد يعتبر عمر المصباح قد انتهى ويجب استبداله بمصباح جديد • ويحدد الصانع معيارا لانخفاض الفيض الضيائى بالتقادم يعرف بعامل انخفاض الفيض الضيائى (Lamp Lumen Depreciation - LLD) •

الخطوة الرابعة عشر :

يؤدى اتساخ ناشر الضوء الى انخفاض فى الفيض الضيائى وتقدر قيمة هذا الانخفاض بعامل يعرف بالانخفاض الاتساخى لناشر الضوء ، (Luminaire Dirt Depreciation - LDD) •

وتنقسم نواشر الضوء الى ست فئات (I — VI) على حسب درجة الصيانة المطلوبة أى على حسب قابليتها للاتساخ ويقوم الصانع بتحديد فئة الناشر ولكل فئة توجد علاقة بين عامل الاتساخ ومعدل التنظيف وذلك لكل درجة من درجات تلوث الجو المحيط كما هو مبين بشكل (4 — 7)

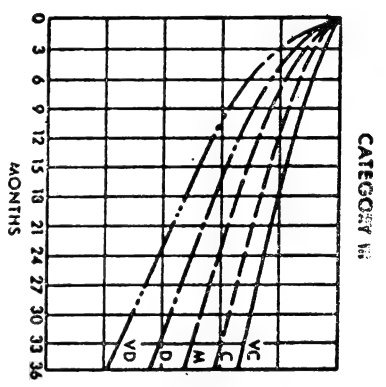
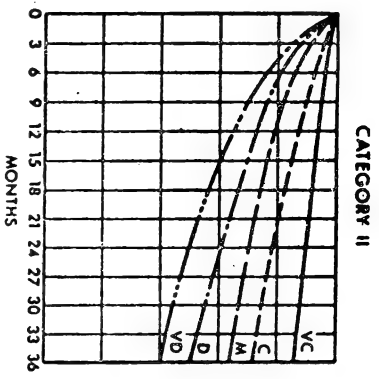
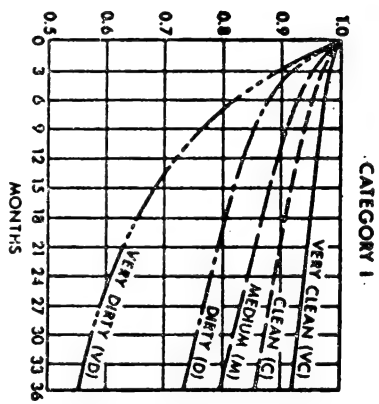
فاذا فرضنا أن فئة الناشر المستخدم هى V وأن الصيانة تتم كل 24 شهرا وأن الجو المحيط متسخ (D) نجد من الشكل (4 — 7) أن عامل الـ LDD هو

$$LDD = 0.72$$

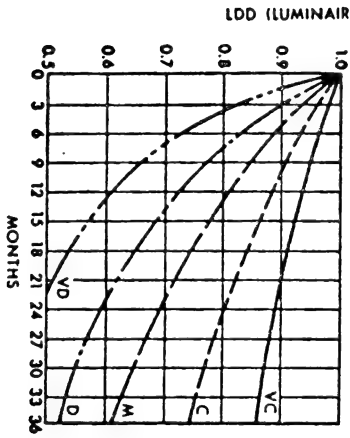
الخطوة الخامسة عشر :

هذه الخطوة تختص بتعيين عامل الفقد الكلى (Light Loss Factor) وهو حاصل ضرب جميع العوامل التى استنتجناها من قبل فى الخطوات من السابعة حتى الرابعة عشر •

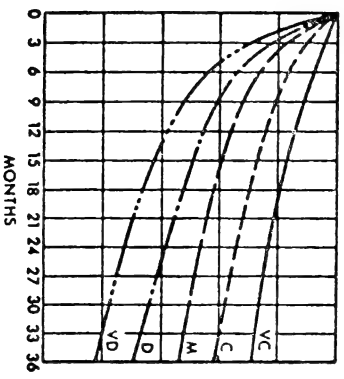
ويلاحظ أنه عندما يصعب الحصول على عامل من هذه العوامل فاننا نفرض



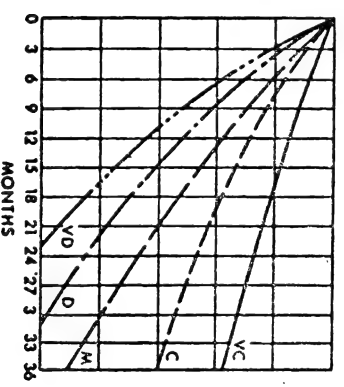
CATEGORY IV



CATEGORY V



CATEGORY VI



Luminaire Dirt Depreciation factors (LDD) for six luminaire categories (I to VI) and for five degrees of dirtiness

قيمته تساوى الواحد • وإذا لاحظنا أن العامل LLF صغيرا جدا بالنسبة للواحد الصحيح فيجب مراجعة التصميم باستخدام نوع آخر من المصابيح •

الخطوة السادسة عشر :

تختص هذه الخطوة بحساب عدد الثريات المستخدمة وشدة اضاءة كل منها ويمكن تسلسل هذه الخطوة كما يلى :

(أ) متوسط الاستضاءة على سطح مستوى التشغيل هي

$$E = \phi_f / A \quad (1 - 4)$$

حيث A هي مساحة سطح التشغيل ، ϕ_f هو الفيض الضيائي الكلى •
وحيث أن جزءا فقط من هذا الفيض يصل مستوى التشغيل فاننا نعرف عامل جديد يسمى معامل الانتفاع (Coefficient of Utilization - CU) وهو يمثل ذلك الجزء من الفيض الذى يسقط فعلا على مستوى التشغيل • فتصبح الاستضاءة

$$E = \phi_f \cdot CU / A \quad (2 - 4)$$

(ب) بادخال عامل الفقد الكاى فى الاعتبار تصبح الاستضاءة

$$E = \phi_f \cdot CV \cdot LLF / A \quad (3 - 4)$$

وفى حالة استخدام عدد N من المصابيح للحصول على فيض ضيائي كاي مقداره ϕ_f تصبح الاستضاءة

$$E = N \phi \cdot CU \cdot LLF / A \quad (4 - 4)$$

حيث ϕ هو الفيض الضيائي لكل مصباح

(ج) معاملات الانعكاس الفعالة • يستخدم الجدول (4 - 5) لتحويل معاملات انعكاس الحوائط والارضية والسقف الى معاملين :

الاول يسمى معامل انعكاس الفجوة السقفية الفعال

(Effective Ceiling Cavity Reflectance - ρ_{CC})

جدول 4 — 5 معاملات الانعكاس الفعالة

Per Cent Effective Ceiling or Floor Cavity Reflectances
for Various Reflectance Combinations



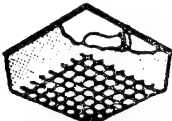
Per Cent Base* Reflectance	70					30					10				
Per Cent Wall Reflectance	70	60	50	40	30	70	60	50	40	30	70	60	50	40	30
Cavity Ratio															
0.2	68	68	67	67	66	30	30	29	29	29	11	10	10	10	10
0.4	67	66	65	64	63	30	30	29	28	28	11	11	11	10	10
0.6	65	64	63	61	59	30	29	28	27	26	12	11	11	10	10
0.8	64	62	60	58	56	30	29	28	26	25	13	12	11	10	10
1.0	62	60	58	55	53	30	29	27	25	24	13	12	12	11	10
1.2	61	59	57	54	50	30	28	27	25	23	14	13	12	11	10
1.4	60	58	55	51	47	30	28	26	24	22	14	13	12	11	10
1.6	59	56	53	47	45	29	27	25	23	22	15	14	12	11	09
1.8	58	54	51	46	42	29	27	25	23	21	15	14	13	11	09
2.0	56	52	49	45	40	29	26	24	22	20	16	14	13	11	09
2.2	55	51	48	43	38	29	26	24	22	19	16	14	13	11	09
2.4	54	50	46	41	37	29	26	24	22	19	17	15	13	11	09
2.6	54	49	45	40	35	29	25	23	21	18	17	15	13	11	09
2.8	53	48	43	38	33	29	25	23	21	17	18	16	13	11	09
3.0	52	47	42	37	32	29	25	22	20	17	18	16	13	11	09
3.2	51	46	40	36	31	29	25	22	19	16	18	16	13	11	09
3.4	50	45	39	35	29	29	25	22	19	16	18	16	13	11	09
3.6	49	44	38	33	28	29	24	21	18	15	19	16	13	11	09
3.8	49	43	37	32	27	28	24	21	18	15	19	17	14	11	09
4.0	48	42	36	31	26	28	24	21	18	14	20	17	14	11	09
4.2	47	41	35	30	25	28	24	20	17	14	20	17	14	11	09
4.4	46	40	34	29	24	28	24	20	17	14	20	17	14	11	08
4.6	45	39	33	28	24	28	24	20	17	13	20	17	14	11	08
4.8	45	38	32	27	23	28	24	20	17	13	20	17	14	11	08
5.0	44	36	31	26	22	28	24	19	16	13	20	17	14	11	08
6.0	41	35	28	24	19	27	23	18	15	11	21	18	14	11	08
7.0	38	32	26	22	17	26	22	17	14	10	21	17	13	11	08
8.0	35	29	23	19	15	26	21	16	13	09	21	17	13	10	07
9.0	33	27	21	18	14	25	20	15	12	09	21	17	13	10	07
10.0	31	25	19	16	12	24	19	14	11	08	21	17	12	10	07

* Ceiling, floor, or floor of cavity.

جدول 4 - 6

Coefficients of Utilization, Wall Luminance Coefficients, Ceiling Cavity

Luminance Coefficients,

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens		pcc ^a →	70			50			30		
				50			50			50		
	Mainst. Cat.	Maximum S/MH Guide ^d	RCR ^c ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (pcc = 20)								
	V	1.5	0	.81	.81	.81	.69	.69	.69	.59	.59	.59
			1	.86	.62	.59	.56	.53	.50	.47	.45	.43
			2	.56	.50	.46	.47	.43	.39	.39	.36	.33
			3	.48	.42	.37	.41	.36	.31	.34	.30	.26
			4	.42	.36	.30	.36	.30	.26	.30	.26	.22
			5	.37	.30	.25	.32	.26	.22	.26	.22	.19
			6	.33	.26	.21	.28	.23	.19	.23	.19	.16
			7	.29	.23	.18	.25	.20	.16	.21	.16	.13
			8	.27	.20	.16	.23	.17	.14	.19	.15	.12
			9	.24	.18	.14	.20	.15	.12	.17	.13	.10
			10	.22	.16	.12	.19	.14	.10	.16	.12	.09
	IV	1.3	0	.97	.97	.97	.92	.92	.92	.88	.88	.88
			1	.86	.83	.81	.83	.80	.78	.79	.78	.76
			2	.76	.72	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64
			3	.67	.61	.57	.65	.60	.56	.63	.58	.55
			4	.60	.53	.48	.58	.52	.48	.56	.51	.47
			5	.53	.46	.41	.51	.45	.41	.50	.44	.40
			6	.47	.40	.35	.46	.39	.35	.44	.39	.34
			7	.42	.35	.30	.41	.34	.30	.39	.34	.30
			8	.38	.31	.26	.37	.30	.26	.36	.30	.26
			9	.34	.27	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23
			10	.31	.24	.20	.30	.24	.20	.29	.24	.20
	V	1.3	0	.85	.85	.85	.77	.77	.77	.70	.70	.70
			1	.74	.72	.69	.68	.66	.64	.62	.60	.58
			2	.66	.62	.58	.61	.57	.54	.56	.53	.50
			3	.60	.55	.50	.55	.51	.47	.50	.47	.44
			4	.54	.49	.44	.50	.45	.42	.46	.42	.39
			5	.49	.43	.39	.45	.41	.37	.42	.38	.35
			6	.45	.39	.35	.42	.37	.33	.39	.35	.31
			7	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.35	.31	.28
			8	.37	.32	.28	.35	.30	.26	.32	.28	.25
			9	.34	.29	.25	.32	.27	.24	.30	.26	.23
			10	.31	.26	.22	.29	.25	.21	.27	.23	.20

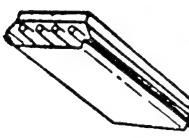
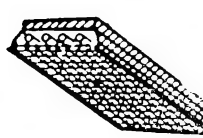
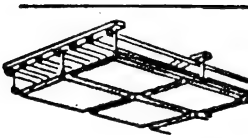
^a pcc = per cent effective ceiling cavity reflectance.

^b pw = per cent wall reflectance.

^c RCR = Room Cavity Ratio.

^d Maximum S/MH guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جدول 4-6 ب

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens		ρ _{cc} ^a →			70			50			30			
			ρ _w ^b →			50			30			50			30
	Maint. Cat.	Maximum S/MH Guide ^d	RCR ^c ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ _{cc} = 20)											
	V	1.2	0	.70	.70	.70	.67	.67	.67	.64	.64	.64	.64	.64	.64
			1	.62	.60	.58	.60	.58	.56	.57	.56	.54	.56	.54	.54
			2	.55	.51	.48	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.48	.46	.46
			3	.49	.44	.41	.47	.43	.40	.45	.42	.39	.43	.40	.39
			4	.43	.38	.35	.42	.37	.34	.40	.36	.33	.38	.34	.33
			5	.38	.33	.29	.37	.32	.29	.36	.32	.29	.34	.30	.29
			6	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.32	.28	.25	.30	.26	.25
			7	.31	.26	.22	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.27	.23	.22
			8	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.24	.20	.19
			9	.25	.20	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.16	.22	.18	.17
			10	.23	.18	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15	.20	.16	.15
	IV	1.0	0	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.53	.53	.53	.53	.53	.53
			1	.52	.51	.49	.50	.49	.48	.48	.47	.46	.47	.46	.46
			2	.47	.44	.42	.45	.43	.41	.44	.42	.40	.43	.40	.40
			3	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.40	.37	.36	.38	.36	.36
			4	.38	.35	.32	.37	.34	.32	.36	.33	.31	.35	.32	.31
			5	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.33	.30	.28	.32	.29	.28
			6	.32	.28	.25	.31	.27	.25	.30	.27	.25	.29	.26	.25
			7	.29	.25	.22	.28	.25	.22	.27	.24	.22	.26	.23	.22
			8	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19	.24	.21	.20
			9	.24	.20	.17	.23	.20	.17	.23	.19	.17	.22	.19	.17
			10	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.21	.18	.15	.20	.17	.15
															
			1	.71	.68	.66	.67	.66	.65	.65	.64	.62	.64	.62	.62
			2	.63	.60	.57	.61	.58	.55	.59	.56	.54	.57	.54	.54
			3	.57	.53	.49	.55	.52	.48	.54	.50	.47	.52	.48	.47
			4	.52	.47	.43	.50	.45	.42	.48	.44	.42	.46	.42	.42
			5	.46	.41	.37	.44	.40	.37	.43	.40	.36	.41	.37	.36
			6	.42	.37	.33	.41	.36	.32	.40	.35	.32	.38	.34	.32
			7	.38	.32	.29	.37	.31	.28	.36	.31	.28	.34	.29	.28
			8	.34	.28	.25	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.30	.26	.25
			9	.30	.25	.22	.30	.25	.21	.29	.25	.21	.26	.22	.21
			10	.27	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.24	.20	.19


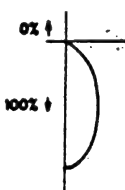

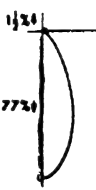

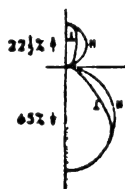
^a ρ_{cc} = per cent effective ceiling cavity reflectance.

^b ρ_w = per cent wall reflectance.

^c RCR = Room Cavity Ratio.

^d Maximum S/MH guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جدول 4 — 6 ج

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens		ACC ^a → ρ _w ^b →	70			50			30		
				50	30	10	50	30	10	50	30	10
	Maint. Coef.	Maximum S/MH Guide ^d	RCR ^c ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (ρ _{cc} = 20)								
	IV	0.8	0	1.16	1.16	1.16	1.11	1.11	1.11	1.08	1.08	1.08
	1	1.07	1.05	1.02	1.03	1.01	.99	.99	.98	.96		
	2	.90	.95	.92	.96	.93	.90	.93	.90	.88		
	3	.92	.87	.83	.89	.85	.81	.87	.83	.80		
	4	.85	.80	.75	.83	.78	.75	.81	.77	.74		
	5	.79	.73	.69	.77	.72	.68	.76	.71	.67		
	6	.73	.67	.63	.72	.68	.62	.70	.66	.62		
	7	.68	.62	.57	.67	.61	.57	.65	.60	.56		
	8	.63	.57	.52	.62	.56	.52	.61	.56	.52		
	9	.59	.52	.48	.58	.52	.48	.57	.51	.48		
	10	.55	.48	.44	.54	.48	.44	.53	.48	.44		
	III	0.7	0	.90	.90	.90	.86	.86	.86	.82	.82	.82
	1	.85	.83	.82	.81	.80	.79	.78	.77	.76		
	2	.80	.77	.75	.77	.75	.73	.75	.73	.72		
	3	.76	.72	.70	.73	.71	.69	.71	.69	.67		
	4	.72	.68	.65	.70	.67	.64	.68	.66	.64		
	5	.68	.64	.61	.66	.63	.61	.65	.62	.60		
	6	.64	.61	.58	.63	.60	.57	.62	.59	.57		
	7	.61	.57	.54	.60	.56	.54	.59	.56	.53		
	8	.58	.54	.51	.57	.53	.51	.56	.53	.51		
	9	.55	.51	.48	.54	.50	.48	.53	.50	.48		
	10	.52	.48	.46	.52	.48	.46	.51	.48	.45		
	II	1.3	0	.94	.94	.94	.84	.84	.84	.76	.76	.76
	1	.84	.81	.78	.76	.74	.72	.69	.67	.66		
	2	.74	.70	.66	.68	.64	.61	.62	.59	.56		
	3	.66	.61	.56	.61	.56	.53	.56	.52	.49		
	4	.60	.53	.49	.55	.50	.46	.50	.46	.43		
	5	.53	.47	.42	.49	.44	.39	.45	.41	.37		
	6	.48	.41	.37	.44	.39	.35	.41	.36	.33		
	7	.43	.37	.32	.40	.34	.30	.37	.32	.29		
	8	.39	.32	.28	.36	.30	.27	.33	.28	.25		
	9	.35	.29	.24	.32	.27	.23	.30	.25	.22		
	10	.32	.26	.22	.29	.24	.20	.27	.23	.19		

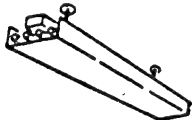
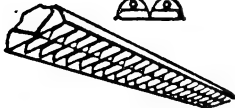

^a ρ_{ce} = per cent effective ceiling cavity reflectance.

^b ρ_w = per cent wall reflectance.

^c RCR = Room Cavity Ratio.

^d Maximum S/MH guide—ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

جدول 4 - 6 د

Typical Luminaire	Typical Distribution and Per Cent Lamp Lumens		pcc ^a →	70			50			30		
				p _w ^b →								
	Maint. Coef.	Maximum S/MH Guide ^d	RCR ^c ↓	Coefficients of Utilization for 20 Per Cent Effective Floor Cavity Reflectance (p _{fc} = 20)								
				Floor Cavity Reflectance (p _{fc} = 20)								
	VI	1.4/1.2	0	.84	.84	.84	.73	.73	.73	.63	.63	.63
			1	.75	.73	.70	.66	.64	.62	.57	.56	.54
			2	.67	.63	.59	.59	.56	.53	.51	.49	.47
			3	.60	.55	.50	.53	.49	.45	.46	.43	.41
			4	.58	.48	.43	.47	.43	.39	.41	.38	.35
			5	.48	.42	.37	.42	.38	.34	.37	.34	.31
			6	.43	.37	.33	.38	.33	.30	.34	.30	.27
			7	.39	.33	.28	.34	.30	.26	.30	.27	.24
			8	.35	.29	.25	.31	.26	.23	.27	.24	.21
			9	.31	.26	.22	.28	.23	.20	.25	.21	.18
			10	.28	.23	.19	.25	.21	.18	.23	.19	.16
	II	1.0	0	.85	.85	.85	.76	.76	.76	.68	.68	.68
			1	.77	.74	.72	.69	.67	.66	.62	.61	.60
			2	.69	.65	.62	.62	.59	.57	.56	.54	.52
			3	.62	.57	.53	.56	.52	.49	.51	.48	.46
			4	.56	.50	.46	.51	.46	.43	.46	.43	.40
			5	.50	.44	.40	.46	.41	.38	.42	.38	.35
			6	.45	.39	.35	.41	.37	.33	.38	.34	.31
			7	.41	.35	.31	.38	.33	.29	.34	.30	.27
			8	.37	.31	.27	.34	.29	.26	.31	.27	.24
			9	.33	.28	.24	.31	.26	.22	.28	.24	.21
			10	.30	.25	.21	.28	.23	.20	.26	.22	.19
	IV	1.0	0	.53	.53	.53	.51	.51	.51	.48	.48	.48
			1	.48	.47	.46	.46	.45	.44	.45	.44	.43
			2	.43	.41	.39	.42	.40	.38	.40	.39	.37
			3	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.37	.35	.33
			4	.36	.32	.30	.35	.32	.30	.34	.31	.29
			5	.32	.29	.26	.31	.28	.26	.30	.28	.26
			6	.29	.26	.24	.29	.26	.23	.28	.25	.23
			7	.27	.23	.21	.26	.23	.21	.26	.23	.21
			8	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.18
			9	.22	.19	.17	.22	.19	.17	.21	.18	.16
			10	.20	.17	.15	.20	.17	.15	.20	.17	.15

^a pcc = per cent effective ceiling cavity reflectance

^b p_w = per cent wall reflectance.

^c RCR = Room Cavity Ratio.

^d Maximum S/MH guide--ratio of maximum luminaire spacing to mounting or ceiling height above work-plane.

والثانى يسمى معامل انعكاس الفجوة الارضية الفعال

(Effective Floor Cavity Reflectance - ρ_{FC})

فمثلا اذا كانت النسبة الفجوية الغرفة RCR هي 0.4 ومعامل انعكاس الارضية 70% ومعامل انعكاس الحوائط 50% ومعامل انعكاس السقف 30% فان الجدول (4 — 5) يعطى

$$\rho_{CC} = 0.65 \quad \text{و} \quad \rho_{FC} = 0.29$$

(د) معامل الانتفاع للمصابيح

كمية الطاقة الضوئية المتصلة فى ناشر الضوء المستخدم تؤخذ فى الاعتبار ضمنيا عند استخدام الجداول (4 — 6) لايجاد معامل الانتفاع • ويلاحظ أنه فى هذه الجداول يعتبر معامل انعكاس الارضية الفعال ρ_{FC} هو 20% فقط • ويلاحظ أيضا أنه لاستخدام الجداول (4 — 6) يجب أولا اختيار نوع الناشر المستخدم ثم النسبة الفجوية للغرفة RCR ثم معامل انعكاس الفجوة الفعالة لحجمية السقف ومعامل انعكاس الحوائط ρ_w •

الخطوة السابعة عشر :

حيث أن الاستضاءة المحسوبة من المعادلة (4 — 4) تمثل القيمة المتوسطة للاستضاءة داخل الغرفة يجب عند توزيع الثريات داخل الغرفة أن نأخذ فى الاعتبار انتظام الاضاءة فى الاماكن المختلفة بداخلها وذلك بالاضافة للشكل الجمالى لها • ويجب أن لا تقل الاستضاءة عند أى نقطة عن القيمة المحددة عند بداية التصميم • ويعتبر انتظام الاضاءة مقبول اذا كانت الاستضاءة عند أى نقطة داخل الغرفة لا تزيد ولا تقل عن 15% من قيمة التصميم • واذا كانت الاستضاءة ضعيفة عند ملتقى الحوائط بالسقف فيمكن تفادى ذلك بوضع عدد اكبر من المصابيح فى الثريات القريبة من الحوائط •

الخطوة الثامنة عشر :

فى هذه الخطوة الاخيرة يجب مراجعة صحة التصميم من حيث موائمة الاضاءة داخل الغرفة للغرض الذى تستخدم فيه ويتم ذلك عن طريق القياس

العملى لمستويات الاضاءة داخل الغرفة ومراجعة العوامل التى استخدمت أثناء التصميم •

وحتى تتضح طريقة تصميم الاضاءة الداخلية سنقدم فيما يلى مجموعة من الامثلة • ويمكن لحل هذه الامثلة استخدام لوحة التصميم التالية • ويجب استخدام لوحة تصميم واحدة لكل غرفة أو صالة أو حيز يجرى تصميم الاضاءة الداخلية له •

لوحة تصميم اضاءة داخلية

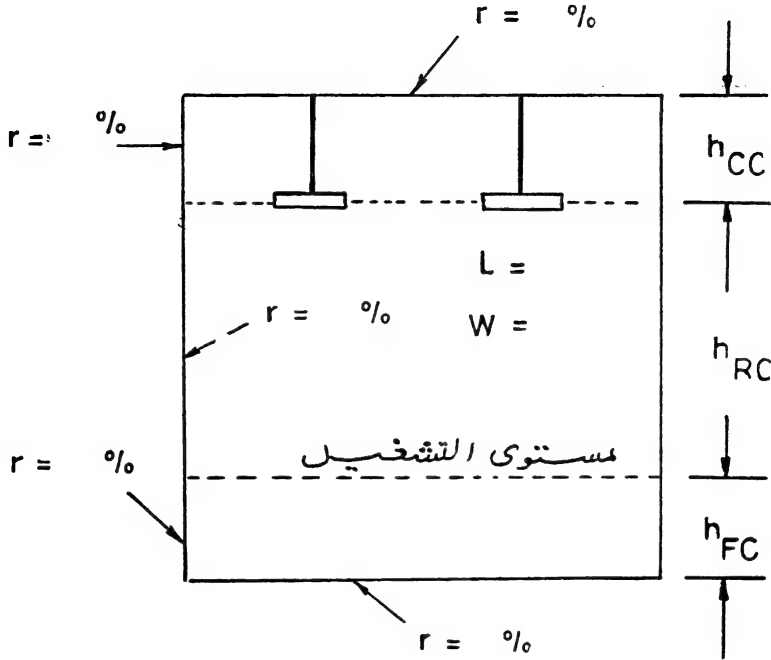
اسم المشروع :

مستوى الاستضاءة الدائمة : لوكس

نوع المصابيح :

نوع ناشر الضوء المستخدم :

عدد المصابيح داخل الناشر الواحد :



$$(1) \quad RCR = \text{النسبة الفجوية للغرفة}$$

$$(2) \quad CCR = \text{النسبة الفجوية للسقف}$$

$$(3) \quad FCR = \text{النسبة الفجوية للأرضية}$$

$$(4) \quad p_{CC} = (5 - 4) \text{ أوجد معامل انعكاس السقف من الجدول}$$

$$(5) \quad p_{FC} = (5 - 4) \text{ أوجد معامل انعكاس الأرضية من جدول}$$

$$(6) \quad CU = (6 - 4) \text{ أوجد معامل الاستخدام CU من جدول}$$

$$(7) \quad \text{اختار عوامل الفقد المناسبة}$$

$$\text{عامل اتساع الغرفة} = \text{عامل انخفاض الفيض الضيائي} =$$

$$\text{عامل الاحتراق للمصابيح} = \text{عامل حرارة المحيط} =$$

$$\text{عامل انخفاض الجهد} = \text{عامل اتساخ سطح الناشر} =$$

$$(8) \quad \text{احسب حاصل ضرب العوامل السابقة لتعين معامل الفقد الكلي :}$$

$$LLF =$$

$$(9) \quad \text{احسب عدد المصابيح من العلاقة}$$

$$\text{عدد المصابيح} = \frac{\text{شدة الاستضاءة} \times \text{مساحة الحيز}}{\text{الفيض الضيائي لكل مصباح} \times CV \times LLF}$$

المصمم :

التاريخ :

مثال (1)

المطلوب تصميم اضاءة مناسبة لغرفة تستخدم كمكتب فحص وعلاج طولها 10.5 متر وعرضها 5 متر وارتفاعها 3 متر • ومعاملات انعكاس الحوائط والسقف والارضية هي 50% و 40% و 30% على التوالي •

من الجدول (4 - 1) نجد أن مستوى الاستضاءة المناسب هو 500 لوكس وباختيار مصابيح فلورية مناسبة بقدرة 65 وات للمصباح الواحد • ناشر الضوء المناسب (من جدول 4 - 6 ج) هو VI وفيه توضع ثلاثة مصابيح أو أربعة ويمكن افتراض أن جو الغرفة من الدرجة الاولى أو « نظيف جداً (V.C) » وانه من المتوقع أن يتم تنظيف السقف والحوائط والارضية كل اثنتا عشر شهرا • وعلى ذلك يكون عامل الفقد نتيجة للاتساخ هو 7% كما هو واضح من المنحنى أعلى الجدول (4 - 4) •

أ) ارتفاع المصابيح عن مستوى التشغيل

$$h = 3 - 0.85 = 2.15 \text{ m}$$

ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.15 (10.5 + 5) / (10.5 \times 5) = 3.174$$

ومما سبق نجد أن

$$RSDD = 0.96$$

على أساس أن الاضاءة شبه مباشرة (العمود الثانى من الجدول (4 - 4)).

ج) النسبة الفجوية السقفية :

إذا فرضنا أن الثريات المستخدمة ملاصقة للسقف ففى هذه الحالة ليس هناك فجوة سقفية ويكون معامل انعكاس السقف $\rho_{CC} = 0.40$

د) النسبة الفجوية الارضية :

$$FCR = 5 \times 0.85 (10.5 + 5) / (10.5 \times 5) = 1.25$$

ومن الجدول (4 — 5) نجد أن معامل انعكاس الأرضية المكافئ $p_{FC} = 0.27$

هـ) يمكن الحصول على معامل الانقناع CU باستخدام الجدول (4 — 6 ج) بمعرفة p_{CC} ومعامل انعكاس الحوائط $p_w = 0.50$

من الجداول نجد أن CU تقع بين 0.53 و 0.46 الكمية الأولى إذا كانت $p_{CC} = 0.30$ والثانية $p_{CC} = 0.5$ وعلى ذلك فالقيمة المتوسطة هي

$$CU = (0.46 + 0.53) / 2 = 0.50$$

ويلاحظ أن الجداول (4 — 6) معدة لمعامل انعكاس أرضية مقداره 0.20 وحيث أن معامل انعكاس الأرضية في هذا المثال هو 0.27 نجد أن الاضاءة الناتجة ستكون أعلى من 500 لوكس بقليل *

و) اختيار عوامل فقد مناسبة :

نجد من الشكل (4 — 7) وباستخدام المنحنيات VI أن $LDD = 0.93$ ويمكن تقدير باقى العوامل الخمسة المذكورة فى لوحة التصميم

0.96 =	عامل اتساخ الغرفة
0.90 =	عامل انخفاض الفيض الضيائي
0.80 =	عامل الاحتراق
0.90 =	عامل اتساخ المصابيح
0.80 =	عامل انخفاض الجهد

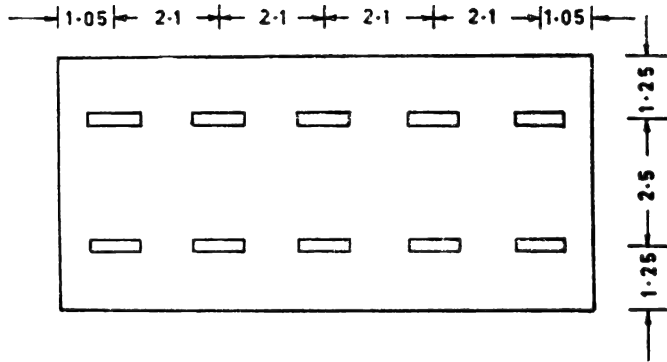
فيكون عامل الفقد الكلى هو

$$LLF = 0.93 \times 0.96 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.8 \\ = 0.46$$

ز) عدد المصابيح المطلوبة

$$\bar{N} = 500 \times 10.5 \times 5 / (0.46 \times 0.50 \times 60 \times 65) \\ = 29.3$$

يستخدم 30 مصباحا توزع ثلاثة مصابيح داخل كل ثريا وتوزع الثريات كما هو مبين بالشكل (4 — 8)



شكل 4 — 8

وباعتبار أن القدرة التأثيرية للمصباح الفلورى هي 60 لومن/وات نجد أن الاستضاءة هي

$$E = 30 \times 0.46 \times 0.5 \times 60 \times 65 / (10.5 \times 5)$$

$$= 512.5 \quad \text{lux}$$

والحمل الكهربى المطلوب هو

$$30 \times 65 = 1950 \quad \text{watts}$$

مثال (2)

يراد تصميم الاضاءة لفصل دراسى طوله 9 متر وعرضه 6.5 متر وارتفاعه 3.25 متر • معاملات انعكاس السقف والحوائط والارضية هي 0.4 و 0.3 و 0.2 على التوالى •

(أ) من الجدول (4 — 1) يتضح أن مستوى الاستضاءة المناسب هو 1000 لوكس • يمكننا فى هذه الحالة اختيار مصابيح مناسبة من النوع الفلورى بقدرة 65 وات للمصباح الواحد • ناشر الضوء من الجدول (4 — 6 د) هو V ويمكن استخدام أربعة مصابيح داخل الناشر الواحد • افترض أن الغرفة من الدرجة الثانية من ناحية النظافة (C) وأنه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط

والسقف والارضية فى اجازات الدراسة (نصف العام وبداية العام) أى كل ستة أشهر • المعامل المثوى المتوقع للانتساح هو 8%

(ب) ارتفاع الضوء عن مستوى التشغيل

$$h = 3.25 - 0.85 = 2.35 \quad m$$

(ج) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.35 (9 + 6.5) / (9 \times 6.5) = 3.1$$

(د) مما سبق نجد أن $RSDD = 0.98$

على أساس أن الاضاءة مباشرة (العمود الاول من الجدول 4 — 4)

(هـ) معامل انعكاس السقف $\rho_{CC} = 0.40$

(و) النسبة الفجوية للسقفية

$$CCR = 5 \times 0.85 (9 + 6.5) / (9 \times 6.5) = 1.1$$

يعطى الجدول (4 — 5) $\rho_{FC} = 0.235$ اذا كان معامل انعكاس الارضية 0.30 ويعطى $\rho_{FC} = 0.10$ اذا كان معامل انعكاس الارضية 0.10 وحيث أن معامل انعكاس الارضية هو 0.20 فنستخدم القيمة المتوسطة

$$\rho_{FC} = (0.1 + 0.235) / 2 = 0.17$$

(ز) يمكن الحصول على معامل الانتفاع CU باستخدام الجدول (4 — 6 د) فنجد أن قيمة CU تقع بين 0.42 و 0.43

$$CU = 0.415$$

ويلاحظ أن عامل انعكاس الارضية ρ_{FC} هو أصغر من القيمة المستخدمة فى الجدول (4 — 6) وبناء عليه ستكون الاضاءة أقل بقليل من 1000 لوكس ويمكن تعويض ذلك عند حساب معاملات الفقد

س) من الشكل (4 - 7) باستخدام المنحنيات V نجد أن $LDD = 0.92$ ويمكن تقدير باقى العوامل الخمسة الخاصة بالفقد فى الاضاءة حسب معطيات المسألة

0.9	عامل اتساخ الغرفة
1.0	عامل انخفاض الفيض الضيائي
0.8	عامل الاحتراق
0.8	عامل اتساخ المصابيح
0.8	عامل انخفاض الجهد

$$LLF = 0.92 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.424$$

ويكون عدد المصابيح المطلوبة

$$N = 1000 \times 9 \times 6.5 / (0.424 \times 0.42 \times 60 \times 65)$$

$$= 84$$

لذلك نستخدم 88 مصباحا توزع كل أربع منها فى ثريا فتكون عدد الثريات المستخدمة 22 وتوزع كما هو مبين بالشكل (4 - 9).

وباعتبار أن القدرة التأثيرية الضيائية للمصباح الفلورى هى 60 لومن/ وات نجد أن الاستضاءة هى

$$E = 88 \times 0.424 \times 0.42 \times 65 \times 60 / (9 \times 6.5)$$

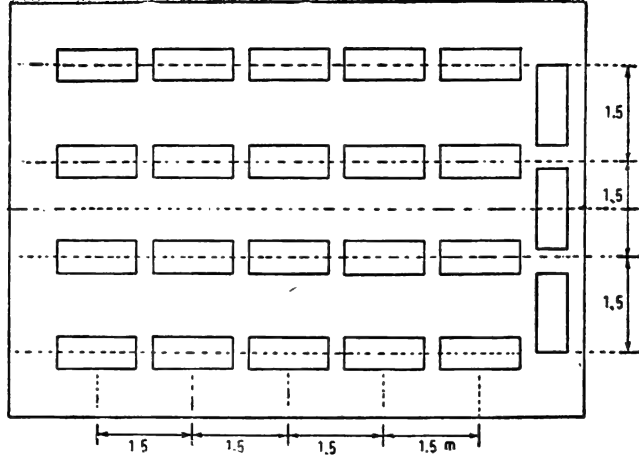
$$= 1045 \text{ lux}$$

والحمل الكهربى المطلوب

$$88 \times 65 = 5720 \text{ watts.}$$

مثال (3)

يراد تصميم الاضاءة لغرفة سكرتارية طولها 7 متر وعرضها 5 متر وارتفاعها 5 متر . معاملات انعكاس السقف والحوائط والارضيه هى 70% و 50% و 30% على التوالى .



شكل (4 — 9)

أ (من الجدول (4 — 1) يتضح أن مستوى الاستضاءة المناسب هو 400 لوكس ويمكن اختيار تاشر ضوء على شكل كرة زجاجية (جدول 4 — 16) وبه مصباح واحد ذات قدرة 100 وات • هذا الناشر هو من الدرجة V كما هو مبين بالجدول (4 — 6) ويمكن افتراض أن الغرفة «نظيفة جداً» (VC) وأنه من المتوقع أن يتم تنظيف الحوائط والسقف والأرضية كل 12 شهر وبناء عليه يكون المعامل المثوى المتوقع لتقدير فقد الاتساع هو 7% كما هو واضح بالجدول (4 — 4) .

إذا اعتبرنا أن الثريات ستكون مدلاة أسفل السقف بحوالى 0.75 متر فيكون ارتفاع مصدر الضوء عن مستوى التشغيل

$$h = 5 - 0.85 - 0.75 = 3.4 \text{ m}$$

على أساس أن مستوى التشغيل يرتفع 0.85 متر عن أرضية الغرفة •

ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 3.4 (7 + 5) / (7 \times 5) = 5.8$$

وبناء على ما سبق نجد أن

$$RSDD = 0.93$$

على أساس أن الاضاءة تناثرية (العمود الثالث من الجدول 4 — 4)

(ج) النسبة الفجوية للسقف

$$CCR = 5 \times 0.75 (7 + 5) / (7 \times 5) = 1.3$$

وباستخدام معامل انعكاس السقف 0.7 والحوائط 0.5 يمكن إيجاد
معامل الانعكاس المكافئ $\rho_{CC} = 0.56$

(د) النسبة الفجوية للأرضية

$$FCR = 5 \times 0.85 (7 + 5) / (7 \times 5) = 1.5$$

باستخدام معامل انعكاس الأرضية 0.3 ومعامل انعكاس الحوائط 0.5
يمكن إيجاد معامل انعكاس الأرضية المكافئ من جدول (4 — 5) $\rho_{FC} = 0.25$
(هـ) معامل الارتفاع CU يمكن الحصول عليه من الجدول (4 — 6) (أ)

$$CU = 0.28$$

(و) من الشكل (4 — 7) يمكن تعيين $LDD = 0.93$

ويمكن تقدير باقى العوامل الخاصة بالفقد كما يأتى

عامل اتساخ الغرفة = 0.96

عامل انخفاض الفيض الضيائى = 0.95

عامل الاحتراق = 0.80

عامل اتساخ المصابيح = 0.90

عامل انخفاض الجهد = 0.80

ويكون عامل الفقد الكلى هو

$$LLF = 0.93 \times 0.96 \times 0.95 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.8 = 0.483$$

(ز) عدد المصابيح المطلوبة للتصميم

$$N = 400 \times 7 \times 5 / (0.28 \times 0.483 \times 100 \times 15) \\ = 69$$

وذلك باستخدام مصابيح متوهجة ذات قدرة تأثيرية ضيائية 15 لومن/وات ويلاحظ أن عدد المصابيح كبير جداً لذلك نلجأ الى تصميم آخر باختيار مصابيح فورية بدلا من المصابيح المتوهجة وقدرة كل مصباح هي 65 وات والقدرة التأثيرية الضيائية له 60 لومن/وات

نلاحظ أن المعامل المئوى لمقدار الاتساخ مازال 7%.

(أ) اذا فرضنا أن الثريات ستكون مدلاة لاسفل السقف مسافة 1.5 متر يكون ارتفاع مصدر الضوء عن مستوى التشغيل هو

$$h = 5 - 0.85 - 1.5 = 2.65 \text{ m}$$

(ب) النسبة الفجوية للغرفة

$$RCR = 5 \times 2.65 (7 + 5) / (7 \times 5) = 4.54$$

ويكون

$$RSDD = 0.94$$

على أساس أن الاضاءة مباشرة •

(ج) النسبة الفجوية للسقف

$$CCR = 5 \times 1.5 (7 + 5) / (7 \times 5) = 2.57$$

وباستخدام معامل انعكاس كلا من السقف والحوائط يمكن ايجاد معامل الانعكاس المكافئ للسقف

$$\rho_{CC} = 0.45$$

(د) النسبة الفجوية للارضية

$$FCR = 5 \times 0.85 (7 + 5) / (7 \times 5) = 1.5$$

ويكون معامل انعكاس الارضية المكافى هو

$$\rho_{FC} = 0.25$$

(هـ) معامل الانتفاع يمكن الحصول عليه من الجدول (4 — 6 أ)

$$CU = 0.425$$

(و) من شكل (4 — 8) يمكن تعيين

$$LDD = 0.93$$

ويمكن تقدير باقى العوامل الخاصة بالفقد كما يأتى

$$0.95 = \text{عامل اتساخ الغرفة}$$

$$0.95 = \text{عامل انخفاض الفيض الضيائى}$$

$$0.85 = \text{عامل الاحتراق}$$

$$0.90 = \text{عامل اتساخ المصابيح}$$

$$0.90 = \text{عامل انخفاض الجهد}$$

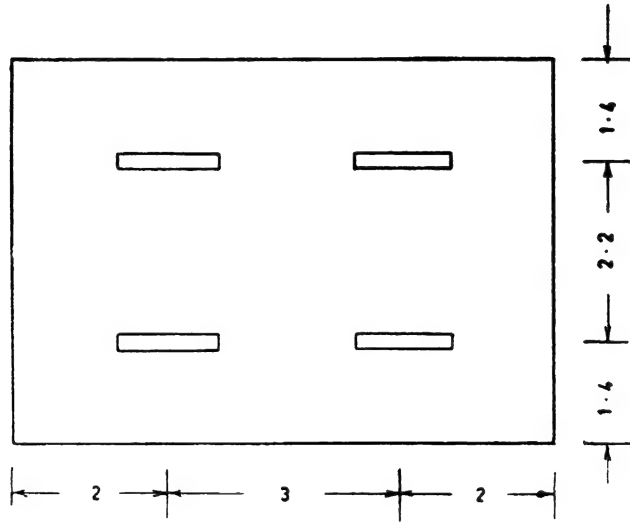
$$LLF = 0.93 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.85 \times 0.9 \times 0.9 = 0.578$$

(ز) عدد المصابيح المستخدمة

$$N = 400 \times 7 \times 5 / (0.425 \times 0.578 \times 60 \times 65) \\ = 14.6$$

أى يمكن استخدام 16 مصباحا توضع كل أربعة منها فى ثريا فتكون عدد الثريات المستخدمة أربع موزعة داخل الغرفة كما هو مبين بالشكل (4 — 10) وتكون الاستضاءة الناتجة

$$E = 16 \times 0.425 \times 0.578 \times 60 \times 65 / (7 \times 5) \\ = 438 \text{ lux}$$



شكل 4 — 10

والحمل الكهربى المطلوب هو

$$16 \times 65 = 1040 \text{ watts.}$$

ويلاحظ أنه باعادة التصميم قد توصلنا الى استخدام عدد أقل من المصابيح وكذلك طاقة كهربية أقل •

الفصل الخامس

أضاءة الشوارع

1.5 مقدمة

استخدمت اضاءة الشوارع فى الماضى بهدف الاقلال من الجرائم والسرقات أما الاضاءة الحديثة للشوارع فهى تهدف أساسا الى تجنب حوادث السيارات أثناء الليل حيث تكون الرؤية أصعب بكثير من الرؤية أثناء النهار • وفى عصرنا هذا هناك متطلبات كثيرة على القوى الادراكية للسائق أثناء قيادته للسيارة على الطريق : فعليه أن يتبع مجرى الشارع وأن يحافظ على موقع السيارة فى الحارة التى يتبعها وأن يلاحظ ويتربقب العلامات والارشادات وأن يستجيب للعلامات التحذيرية والارشادات والتقاطعات • وتزداد احتياطات السائق كلما زادت سرعة السيارة التى يقودها • ويستمد السائق جميع هذه المتطلبات من جهاز الرؤية لديه ولا يقصد بجهاز الرؤية العين فحسب وانما العين وجميع الاعصاب البصرية الواصلة الى المخ •

وقد تصل الاستضاءة على سطح الشارع أثناء النهار عندما تكون الشمس ساطعة الى 10^5 لوكس فى حين أنه أثناء الليل تصل استضاءة الشارع الى حوالى 10 لوكس فقط مما يجعل مهمة السائق أصعب بكثير أثناء الليل حيث عليه أن يتأقلم على اضاءة قد تصل الى 0.01% من الاضاءة التى تعودها أثناء النهار • ونظرا للقدره التهايشية للعين ، فان حساسية الابصار تزداد بانخفاض مستوى الضوء • والعلاقة بين النصوص الظاهرى للشارع والنصوص الفعلى (المقاس) هى علاقة لوغاريتمية بحيث يكون تقدير السائق لنصوص شارع به اضاءة جيدة ليلا هو ربع النصوص أثناء النهار • ولكن الانخفاض فى مستوى الضوء يصحبه تغييرات فى الخصائص الاخرى للرؤية أهمها خاصية ادراك التباين بين الاشياء • وتبلغ الحساسية لهذا الادراك أثناء الليل عشر الحساسية أثناء النهار • كذلك فان الرؤية فى الليل تكون أبطأ

منها فى النهار أى أن الاشارة المرئية تحتاج الى وقت أطول لكى تصل من العين الى المخ وقد يكون الفارق فى الزمن 0.15 ثانية • ومعنى ذلك أنه عند سرعة 90 كم/س يكون الفارق فى المسافة التى عندها يرى السائق الشئ فى النهار وفى الليل هو 4 أمتار • وأهم مصدر ازعاج للسائق ليلا هو الاضاءة المبهرة من كشافات السيارات القادمة من الاتجاه المعاكس للطريق وأيضا المنابع الضوئية المبهرة التى قد توجد على جانبى الطريق بما فى ذلك فوانيس اضاءة الشوارع • وجميع هذه المصادر الشاردة للضوء تؤدى الى انخفاض اضافى فى ادراك التباين بين الاشياء •

ورغم كثرة الاسباب التى تؤدى الى انخفاض الرؤية ليلا الا أنه يكاد يكون متفقا عليه أن أهم هذه الاسباب هو الفقد فى ادراك التباين ، ولذلك فالزيادة من هذا الادراك هو عنصر أساسى فى تصميم اضاءة الشوارع وذلك عن طريق الحصول على أكبر قيمة ممكنة لنصوع سطح الشارع مع أقل بهر من الفوانيس نفسها بحيث تبدو الاشياء للسائق داكنة وبخطوطها الخارجية فقط (silhouette).

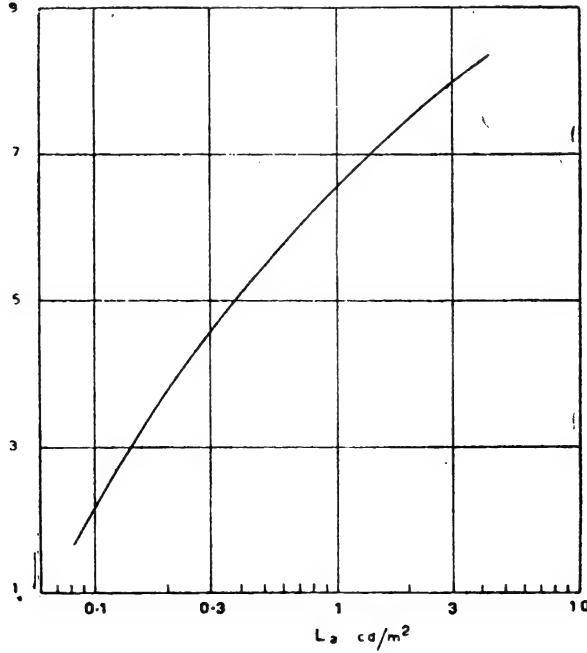
2.5 مستوى النصوع

يؤثر مستوى نصوع سطح الشارع على حساسية عين السائق من حيث ادراك التباين • وقد أجريت عدة تجارب طلب فيها من عدد من الافراد تقييم مدى كفاية مستويات الاضاءة بالنسبة للطرق الهامة وذلك على أساس نظام النقاط التالى :

1	ردىء
3	غير كاف
5	مقبول
7	جيد
9	ممتاز

ويبين الشكل (5 — 1) العلاقة بين متوسط تقدير الافراد والقيمة المتوسطة لنصوع سطح الشارع • ومن الواضح أنه للحصول على تقدير «جيد» يجب ألا يقل النصوع عن 1.5 كن/م² • وفى سلسلة أخرى من التجارب أجريت دراسة

احصائية لعدد قادة السيارات الذين يضيئون المصابيح الامامية عند الغسق على الطرق التي ليست بها اضاءة • وقد أظهرت النتائج أن 20% من القادة يستخدمون المصابيح الامامية عندما يكون النصوص 1 كن/م² ثم تزداد هذه النسبة مع انخفاض النصوص • أما في الطرق المضاءة ليلا فوجد أن 80% من القادة لا يستخدمون المصابيح الامامية اذا كانت قيمة النصوص 2 كن/م² أو أكثر •



شكل 5 — 1. العلاقة بين متوسط تقدير الافراد لجودة النصوص والقيمة المتوسطة لنصوص سطح الشارع

1.2.5 انتظام النصوص

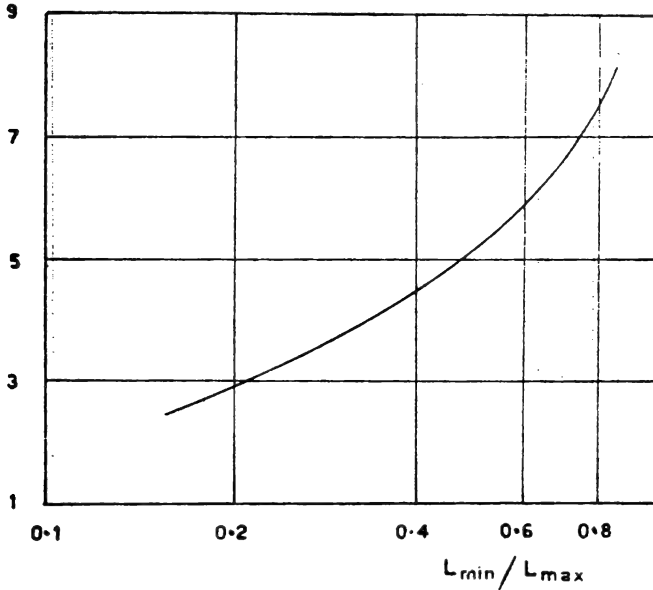
ان معيار الانتظام من حيث عول الادراك هو النسبة بين أدنى قيمة للنصوص (L_{min}) داخل مساحة ما والقيمة المتوسطة للنصوص (L_a) داخل هذه المساحة وتعرف هذه النسبة بمعامل الانتظام الاجمالي :

$$U_0 = L_{min}/L_a$$

وقد وجد أن هذه النسبة يجب الاتقل ، فى أى حال من الاحوال ، عن 0.4 عند أى نقطة على الشارع ولكن حتى بهذه النسبة تبدو اضاءة الشارع مرتفعة وغير مريحة للعين • ولذلك تم تعريف معامل آخر للانتظام يأخذ فى الاعتبار راحة الرؤية وهو معامل الانتظام الطولى للنصوع

$$U_L = L_{min}/L_{max}$$

وهو النسبة بين أدنى وأقصى نصوع فى اتجاه خط المنتصف لكل حارة مرور • ويبين الشكل (5 — 2) العلاقة بين هذا المعامل والتقييم الشخصى للاضاءة فى الطرق الرئيسية • وتؤثر درجة انتظام النصوع على تصميم واقتصاديات الاضاءة حيث تعتمد على تباعد المصابيح (أى عددها) وعلى الخواص البصرية لناشر الضوء (الفانوس) المستخدم •



شكل 5 — 2. العلاقة بين تقدير الافراد لجودة انتظام الاضاءة وعامل الانتظام الطولى

3.5 البهر

بالنسبة للاضاءة الخارجية يوجد معياران للبهر : البهر النفسى (البسيكولوجى) أو البهر المزعج وهو يقدر بدلالة الارتياح البصرى ، والبهر

الفسيولوجى أو البهر المعوق وهو يقدر بدلالة الادراك البصرى * وقد أظهرت الابحاث أنه لا يوجد أى تدهور فى مستوى الادراك طالما أن البهر مقبـول من حيث الارتياح البصرى *

1.3.5. البهر المزعج (Discomfort Glare).

لتقدير هذا النوع من البهر أجريت دراسة احصائية حيث طلب من عدد كبير من الاشخاص تقييم درجة انزعاج البهر باستخدام تسع نقاط كدليل للبهر كما هو مبين فى الجدول التالى :

درجة البهر	صفة البهر	التقدير
1	غير مطاق	ردىء
3	مزعج	غير مريح
5	مسموح	مقبول
7	مرضى	جيد
9	غير محسوس	ممتاز

والقيمة المتوسطة لدرجة البهر بالنسبة لاي مشروع اضائى هى مقياس للبهر المزعج لهذا المشروع والرمز المستخدم لدرجة البهر هو حرف G (glare mark). * وقد أظهرت نتائج الدراسة أن البهر المزعج فى الشوارع المضاءة يتأثر بالعناصر الاتية : (نظر شكل 5 — 7)

- شدة الاضاءة I_1 على زاوية $\gamma = 80^\circ$, $C = 0^\circ$
- شدة الاضاءة I_2 على زاوية $\gamma = 88^\circ$, $C = 0^\circ$
- مساحة الفانوس المبتعثة للضوء (F) على زاوية 76° (شكل 5 — 3)
- متوسط الذبذبة على سطح الشارع (La)
- العلو بين مستوى العين والمصباح (h')
- عدد الفوانيس للكيلو متر الواحد (p)
- معامل ألوان (f)

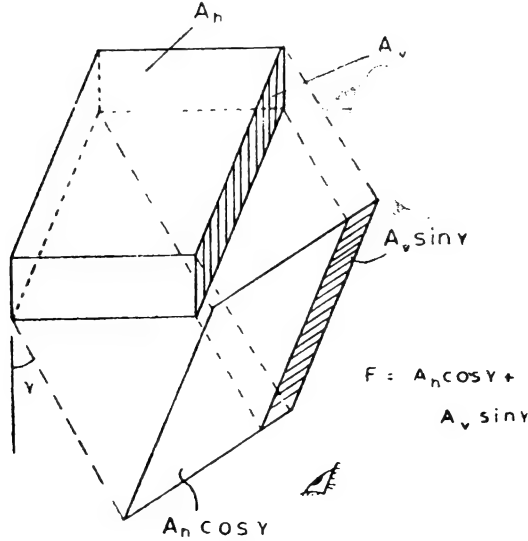
$$= 0.4 \text{ لمصباح الصوديوم ذات الضغط المنخفض}$$

0.1 = لمصباح الصوديوم ذات الضغط العالي

-0.1 = لمصباح الزئبق ذات الضغط العالي

0 = لجميع المصابيح الاخرى

ويمكن تحديد درجة البهر G من المعادلة التالية (وهي صالحة اذا كان ارتفاع الفانوس يقل عن 20 متر) :



شكل 5 — 3

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_1 + 1.3 [\log I_1/I_2]^{0.5} - 0.08 \log (I_1/I_2) + 1.29 \log F + 0.97 \log La + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + f$$

2.3.5. البهر المعوق (Disability Glare)

المعيار لهذا النوع من البهر هو ما يسمى بالمشرف التزايدى (Threshold Increment-TI) ويعرف كالاتى :

$$TI = 65 L_v/L_a^{0.8}$$

حيث L_a هو متوسط النصوع على سطح الشارع و L_v هو النصوع الحاجب (veiling luminance). والنصوع الحاجب هو ذلك النصوع

الذى يضاف الى الصورة المكونة على شبكية العين فينخفض من تباينها وبالتالي من قدرة الادراك البصرى • وهذا التأثير الحاجب ينتج عن وجود منابع أو مساحات ناصعة فى مجال الابصار مما يؤدى الى انخفاض الرؤية • وبالنسبة للاضاءة الداخلية فان تأثير الضوء الشارد على العين ليس ذات أهمية • أما فى حالة اضاءة الشوارع (وفى بعض أنواع الاضاءة الصناعية) فان تأثير هذا الضوء يجب أن يؤخذ فى الاعتبار • وتأثير الضوء الشارد على العين هو اضافة نصوع حاجب الى نصوع صورة الشئ المرئى والى نصوع خلفية هذا الشئ •

وتعريف التباين هو

$$C = (L_b - L_o) / L_b$$

حيث L_b = نصوع الخلفية

L_o = نصوع الشئ المستهدف رؤيته

وإذا أخذنا النصوع الحاجب فى الاعتبار نجد أن

$$C = \frac{(L_b + L_v) - (L_o + L_v)}{L_b + L_v}$$

$$= (L_b - L_o) / (L_b + L_v)$$

ومن الواضح أن النصوع الحاجب يقلل من تباين الاشياء •

4.5 توصيات اللجنة الدولية للاضاءة

لقد وضعت اللجنة الخاصة باضاءة الشوارع والتابعة للجنة الدولية للاضاءة (International Commission for Illumination — CIE) توصيات دولية للمعايير التى يجب أن تطبق بالنسبة لاضاءة الشوارع ويعطى الجدول 1.5 ملخصاً لهذه التوصيات •

وجدير بالذكر أن المواصفات الاهلية لبعض البلاد تضع القيود على البهر عن طريق تعيين شدة اضاءة الفوانيس فى اتجاهات محددة • ولذلك يتم تصنيف الفوانيس على حسب توزيعها للضوء :

جدول 1.5 توصيات الـ CTE بالنسبة لأضاءة الشوارع

نوع الشارع	ظليمة المنطقة الحيطه بالشارع	متوسط النصوصع عند سطح الشارع L_{a} (cd/m ²)	معامل الانتظام الاجمالي U_o	معامل الانتظام الطولي U_L	درجة البهر المرجع	البهر الموزق $TI\%$
طريق عام سريع	أي كانت	2	0.4	0.7	6	10
طريق اتصال رئيسى	نبيرة مظلمة	2 1	0.4	0.7	5 6	10 10
طريق دائرى طريق رئيسى	نبيرة مظلمة	2 1	0.4	0.5	5 6	20 10
طريق تجارى بوسط المدينة	نبيرة	2	0.4	0.5	4	20
طرق فرعية موصلة بين الطرق الرئيسية أو التجارية وشوارع فى المناطق السكنية	نبيرة مظلمة	1 0.5	0.4 0.4	0.5 0.5	4 5	20 20

- فانوس قطع (CO) cut-off
- فانوس شبه قطع (SCO) semi-cut-off
- فانوس بدون قطع (NCO) non-cut-off

ويبين الجدولين 5 — 2 و 5 — 3 التصنيف التابع لـ CIE* والتصنيف التابع للمقاييس الأمريكية

جدول 5 — 2 تصنيف الفوانيس حسب الـ CIE

نوع الفانوس	اتجاه القيمة العظمى لشدة الاضاءة	أقصى قيمة مسموح بها لشدة الاضاءة فى الاتجاه :
		80°
قطع	65° — 0	30 cd/1000 lm
شبه قطع	75° — 0	100 cd/1000 lm
بدون قطع		90°
		10 cd/1000 lm*
		50 cd/1000 lm*
		1000 cd

*بعد أقصى 1000 cd أيا كان الفيض الضيائي

جدول 5 — 3 تصنيف الفوانيس حسب المواصفات الأمريكية (IES)

نوع الفانوس	أقصى قيمة مسموح بها لشدة الاضاءة فى الاتجاه
	80°
قطع	100 cd/1000 lm
شبه قطع	200 cd/1000 lm
بدون قطع	90°
	25 cd/1000 lm
	50 cd/1000 lm

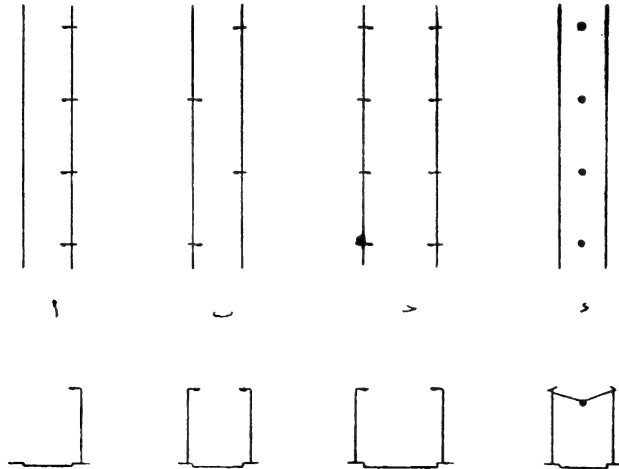
5.5. توزيع الفوانيس

أولا : الشوارع الثنائية الاتجاه : يمكن اضاءة هذه الشوارع باحدى النظم الاربعة المبينة فى الشكل (5 — 4)

* رغم أن هذا التصنيف قد ألغى من جانب الـ CIE إلا انه لا يزال معمولاً به فى كثير من البلاد *

أ (جميع الفوانيس على جانب واحد من الشارع • ويستخدم هذا النظام فقط اذا كان عرض الشارع مساويا أو أقل من علو الفانوس •

ب) الفوانيس موضوعة على جانبي الشارع بنظام خلافي • ويستخدم أساسا عندما يكون عرض الشارع بين مرة ومرة ونصف علو الفانوس •



شكل 5 — 4. النظم المختلفة لتوزيع الفوانيس

ج) الفوانيس موضوعة على جانبي الشارع بنظام متقابل • ويستخدم اذا كان عرض الشارع أكثر من مرة ونصف علو الفانوس •

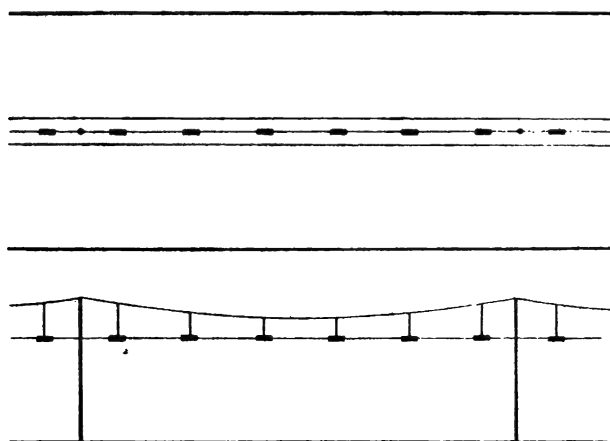
د) الفوانيس معلقة فوق منتصف الشارع • ولا يستخدم الا في الشوارع الضيقة جدا التي بها مباني على الجانبين حيث يتم تعليق الفوانيس على كابلات مثبتة على جدران المباني •

ثانيا : الشوارع المزدحمة والطرق السريعة : بالاضافة الى النظم (أ) — (ج) المشار اليها أعلاه يمكن أضاءة هذه الشوارع بثلاثة نظم اضافية :

هـ) العواميد بها فوانيس مزدوجة وموضوعة في الجزيرة التي تفصل حارات الذهاب عن حارات الاياب ويمكن اعتبار هذا النظام ماثلا للنظام (أ) بالنسبة لكل من الاتجاهين •

و) بالإضافة الى الفوانيس الموضوعة فى وسط الجزيرة تضاف فوانيس بنظام متقابل على جانبي الشارع ويمكن اعتبار هذا النظام ماثلا للنظام (ب) بالنسبة لكل من الاتجاهين •

ز) نظام سلسلى : تعلق الفوانيس من كابل صلب يمتد فوق الجزيرة التى تفصل الشارع (شكل 5 — 5) ومحمل على عواميد متباعدة من 60 الى 90 متر بعضها عن بعض • أما التباعد بين الفوانيس نفسها فيتراوح بين 10 20 متر •



شكل 5 — 5 النظام السلسلى لتوزيع الفوانيس

ثالثا : النقاطات واللتقيات : يجب أن تكون التقاطعات واللتقيات ظاهرة بوضوح من على بعد ويجب أيضا أن تكون مضاءة بطريقة تساعد السائق على اختيار المخرج الذى يريده • ويمكن تحقيق ذلك عن طريق :

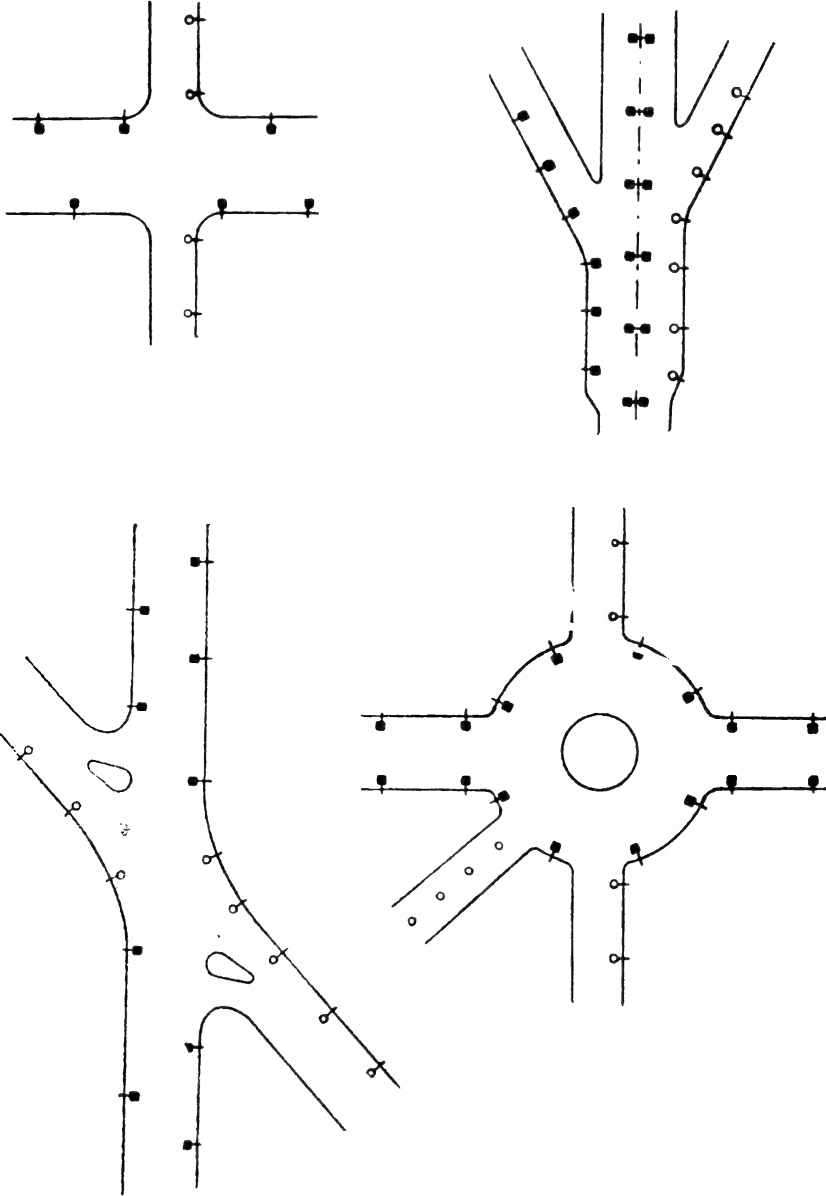
أ) رفع مستوى الاضاءة (الاستضاءة أو النصوص) •

ب) استخدام ألوان مختلفة للاضاءة •

ج) استخدام فوانيس من أنواع مختلفة وبنظم مختلفة للشوارع الرئيسية والشوارع الثانوية (شكل 5 — 6) •

د) الاضاءة باستخدام العواميد المرتفعة (أكثر من 20 متر) • ويفضل

استخدام هذه الطريقة بالنسبة للملتقيات المعقدة فى الشوارع الرئيسية والطرق السريعة • وباستخدام عدد صغير من كشافات الاضاءة الغامرة ذات المصابيح القوية يمكن الحصول على درجة انتظام للاضاءة تقرب من الضوء



شكل 5 - 6. استخدام فوانيس مختلفة للتوجيه الابصارى عند التقاطعات

الطبيعى • ويجب أن يتم التصميم بدقة كبيرة بالنسبة لاختيار أماكن العواميد ونوع الاضاءة الغامرة •

رابعاً : المنحنيات : تعتمد المسافة بين الفوانيس عند أى منحنى على نصف قطر المنحنى • كلما صغر نصف القطر كلما ضاقت هذه المسافة التى تتراوح ، بصفة عامة ، بين نصف وثلاثة أرباع المسافة بين الفوانيس فى الشارع المستقيم • وإذا كان عرض الشارع أقل من مرة ونصف ارتفاع الفانوس يجب وضع الفوانيس على المنحنى الخارجى وعلى جانب واحد فقط • أما اذا زاد عرض الشارع عن ذلك فيجب استخدام فوانيس على الجانبين بنظام متقابل ويجب تجنب استخدام النظام الخلفى حيث يؤدي ذلى الى توجيه ابصارى ردىء •

6.5 تصميم الاضاءة

مما لا شك فيه أن موضوع تصميم اضاءة الشوارع ليس بالسهل • فالمطلوب من مهندس الاضاءة هو ترجمة المواصفات الاضائية الى تصميمات هندسية عن طريق اختيار نوع الفانوس وارتفاعه عن سطح الشارع وتباعد الفوانيس بعضها عن بعض وذلك بالنسبة لشارع له عرض معين ونوعية سطح معينة • وباستخدام الحسابات للتصميم يمكن الحصول على قيم لمعايير جودة الاضاءة مثل التى وضعتها الـ CIE. • وقد يحتاج الامر عدة محاولات بالحساب حتى يمكن التوصل الى التصميم الامثل الذى يحقق المواصفات المطلوبة • وحيث أن الحساب المناسب ليس فى متناول يد كل مهندس ، فهناك طرق أخرى وان لم تكن فى دقة الحساب الا أنها تعطى اضاءة مقبولة جداً وتفى بالمواصفات المطلوبة • وسوف نوضح فيما يلى هذه الطرق •

يمكن القول أن المعيارين الاساسيين اللذين يؤثران تأثيرا كبيرا على تصميم اضاءة الشوارع هما سلامة المرور وأمانة المشاة • وتؤخذ أيضا العوامل الاتية فى الاعتبار :

- المنطقة التى يمر بها الشارع •
- نوع الشارع •
- نوع الرصف للشارع •

- احصائيات الجرائم والسرقات ومتطلبات الامن •
- نوع الرصف للشارع •

وعند تصميم الاضاءة لشارع معين يجب معرفة البيانات الاتية :

- أ) بروفيل الشارع •
- ب) متوسط الاستضاءة عند سطح الشارع أو نصوع سطح الشارع نفسه •
- ج) درجة انتظام الاضاءة المطلوبة •
- د) درجة البهر المسموح بها •
- هـ) مدى التوجيه الابصارى الذى يجب توفيره •

وقبل بدء التصميم يجب الحصول (من الصانع) على البيانات التخطيطية الاتية لكل نوع من أنواع الفوانيس التى سوف تستخدم فى التصميم :

- أ) منحنيات الايسولوجس (خطوط تساوى الاضاءة) وهى تستخدم لايجاد توزيع الاستضاءة على الشارع •
- ب) رسم بيانى لعامل الانتفاع (utilization factor) η وهو يستخدم لايجاد القيمة المتوسطة للاستضاءة •
- ج) منحنيات انتاجية النصوع (luminance - yield) وهى تستخدم لايجاد القيمة المتوسطة لنصوع سطح الشارع • وحيث أن النصوع يختلف باختلاف الطبيعة العاكسة لسطح الشارع وباختلاف موضع المراقب لذلك توجد عدة منحنيات لانتاجية النصوع •

1.6.5. حساب الاستضاءة عند نقطة باستخدام منحنيات الايسولوجس

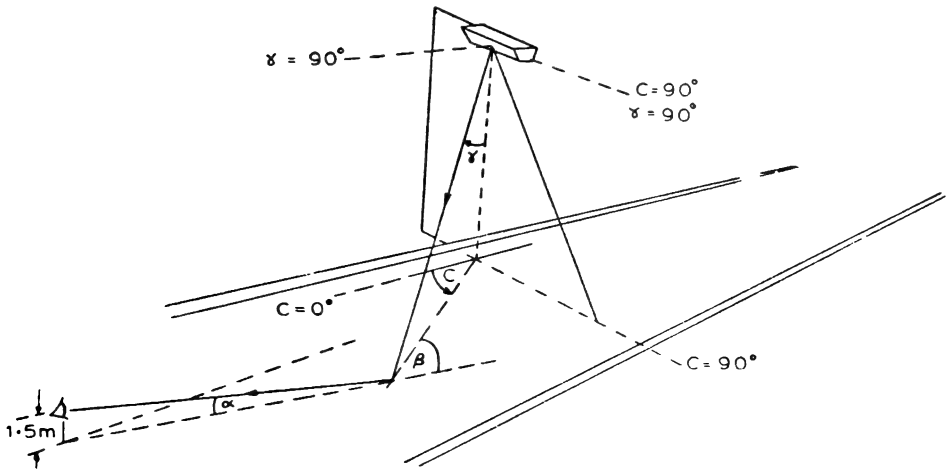
الاستضاءة عند أى نقطة P على سطح الشارع (شكل 5 - 7) هى

$$E_p = \sum_{\gamma=5}^{1-5} \frac{I(\gamma, C)}{h^2} \cos^3 \gamma$$

حيث $I(\gamma, C)$ = شدة الاضاءة فى اتجاه النقطة P

h = ارتفاع المصباح عن سطح الشارع

وباستخدام هذه المعادلة يمكن حساب الاستضاءة عند نقط مختلفة على سطح الشارع • وإذا وقعت هذه النقط على رسم الشارع ثم تم توصيل جميع النقط المتساوية الاضاءة نحصل على منحنيات الايسولوكس • ومنحنيات الايسولوكس للفوانيس المختلفة يتم اعدادها بواسطة الحاسب الالىكترونى ويبين الشكل (5 — 8) مجموعة من هذه المنحنيات لفانوس معين • ويلاحظ أن الابعاد على المحاور معطية بدلالة ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع (h) وأن قيم الاستضاءة قيم نسبية أى أن العدد المبين على كل منحنى يمثل قيمة الاستضاءة كنسبة مأوية من أكبر استضاءة يعطيها الفانوس •



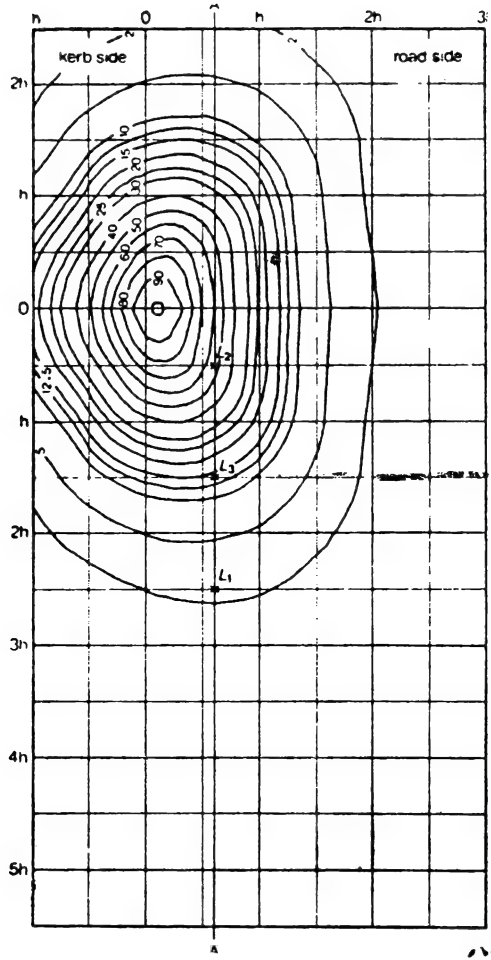
شكل 5 — 7.

ويتم ايجاد القيمة المطلقة للاستضاءة عند نقطة ما من العلاقة

$$E_p = E_r a n \phi / h^2 \quad (2 - 5)$$

حيث E_r = الاستضاءة النسبية عند النقطة
 a = معامل خاص تتحدد قيمه على حسب نوع الفانوس المستخدم تعطي قيمته فى أسفل شكل الايسولوكس الخاص بكل فانوس •
 ϕ = الفيض الضيائي للمصباح •

- n = عدد المصابيح في كل فانوس
- h = ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع



شكل 5 — 8. منحنيات الايزولوكس

مثال I :

في الشارع المبين في الشكل (5 — 9) الفوانيس تعلو 10 متر عن سطح الشارع وكل فانوس به مصباح فيضه الضيائي 40000 لومن ومنحنيات الايسولوكس للفانوس هي المبينة في الشكل (5 — 8) المطلوب ايجاد الاستضاءة

عند النقطة P على سطح الشارع ($a = 0.187$). ونبدأ بتحديد بعد النقطة P عن محور صف الفوانيس بدلالة علو الفوانيس وهو $0.6 h$ ثم نرسم الخط AA على رسم الايسولوجس كما هو مبين على الشكل ونوقع على هذا الخط النقاط L_3, L_2, L_1 التي تمثل المسافة بين النقطة P والمحور المستعرض لكل فانوس أى

$$L_3 = 15 \text{ m} = 1.5 h, L_2 = 5 \text{ m} = 0.5 h, L_1 = 25 \text{ m} = 2.5 h$$

ونحدد من الشكل قيمة الاستضاءة النسبية عند هذه النقاط ،

$$E_3 = 13 \% , E_2 = 53 \% , E_1 = 3 \%$$

إذا فالاستضاءة الكلية النسبية عند P هي

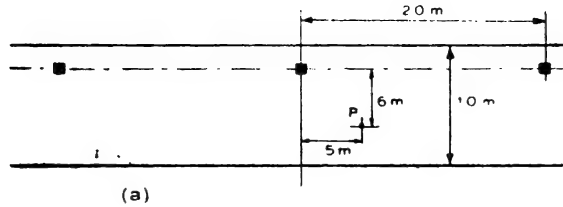
$$E_P = 0.69 E_{\max}$$

وحيث أن

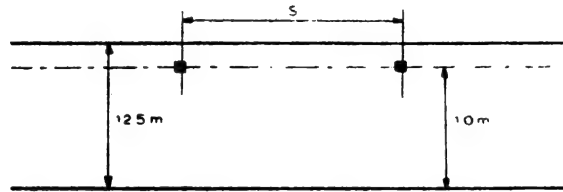
$$E_{\max} = a \phi / h^2 = 74.8 \text{ lux}$$

فالاستضاءة الفعلية عند P هي

$$E_P = 0.69 \times 74.8 = 51.6 \text{ lux}$$



(a)



(b)

شكل 5 — 9

مثال 2 :

المطلوب ايجاد أقصى تباعد ممكن للفوانيس بالنسبة للشارع المبين في الشكل (5 — b) بحيث لا يقل انتظام الاستضاءة (Emin/Emax) عن 0.2 إذا كان ارتفاع الفوانيس 10 متر .

نوقع على رسم الايسولوجس الخطين AA و BB (شكل 5 — 10) (الذين يمثلين عرض الشارع بدلالة علو افانوس). وإذا فرضنا أن المسافة بين فانوسين متتاليين هي s فمن الواضح أن أقل استضاءة ستكون عند منتصف هذه المسافة وأن قيمها يجب أن لا تقل عن 10% من الاستضاءة القصوى . وبالرجوع الى رسم الايسولوجس نجد أن منحنى الـ 10% يقطع الخطين AA و BB عند النقطتين a و b . إذا فان نصف المسافة بين الفانوسين هي المسافة بين المحور المستعرض للفانوس وأقرب هاتين النقطتين له أى النقطة b فنجد أن

$$s/2 = 1.5 h$$

$$s = 3.0 h = 30 \text{ meters.}$$

2.6.5. حساب القيمة المتوسطة للاستضاءة بواسطة عامل الانتفاع

يمكن ايجاد القيمة المتوسطة للاستضاءة بالنسبة لشارع مستقيم طوله لا نهائى من المعادلة الاتية :

$$E' = \eta \phi n/ws \quad (5 — 3)$$

$$n = \text{عدد المصابيح فى الفانوس الواحد} \cdot$$

$$\phi = \text{الفيض الضيائي للمصباح} \cdot$$

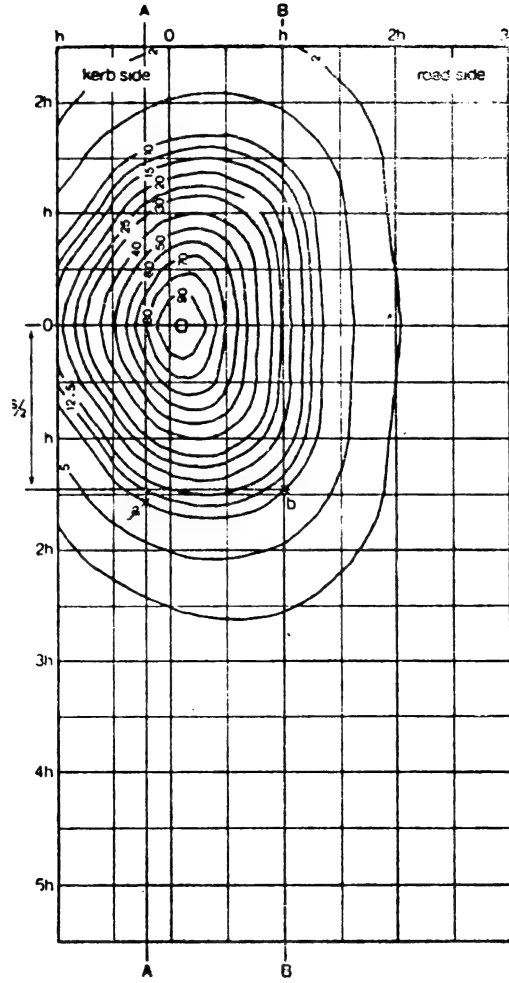
$$\eta = \text{عامل الانتفاع} \cdot$$

$$w = \text{عرض الشارع} \cdot$$

$$s = \text{تباعد الفوانيس بعضها عن بعض} \cdot$$

وفى اضاءة الشوارع يعرف عامل الانتفاع بأنه النسبة بين الفيض الفعلى الذى يصل الى الشارع وبين الفيض الخارج من الفانوس .

$$\eta = \phi_u/\phi$$



شكل 5 — 10

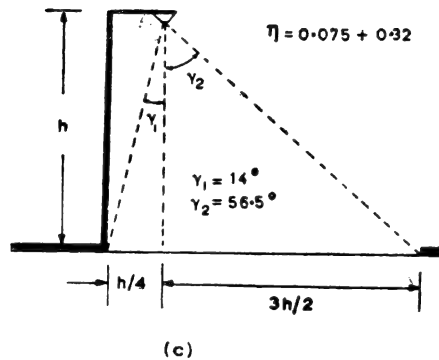
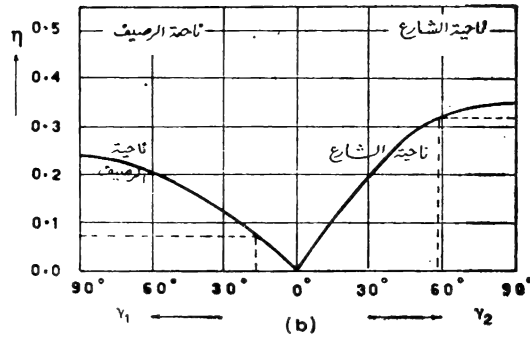
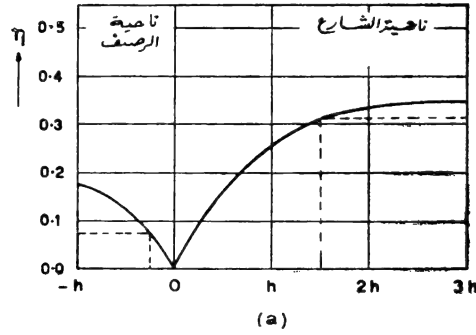
والرسم البياني لعامل الانتفاع لفانوس معين يعطى على شكلين :

أ (كدالة من الابعاد العرضية مقاسة من المحور الطولى لفانوس الى كل من الرصيفين (شكل 5 — 11 a)

ب) كدالة من الزاويتين γ_1 و γ_2 (شكل 5 — 11 b)

وفى الحالتين يجب جمع قيمة عامل الانتفاع من ناحية الرصيف (kerb-side) الى قيمة عامل الانتفاع من ناحية الشارع (road-side)

وذلك للحصول على عامل الانتفاع الفعلى لعرض الشارع بأكمله • ويبين الشكل (5-11 c) أن أى من الدالتين تعطى نفس القيمة لعامل الانتفاع • والمنحنيات الاولى تعطى قيمة عامل الانتفاع لشارع له مقطع معلوم • أما المنحنيات الثانية فيمكن بواسطتها تحديد ماذا كان يمكن زيادة الانتفاع (وبالتالى زيادة متوسط الاضاءة) بتغيير زاوية ميل الفانوس δ مع الافقى •



شكل 5 - 11. منحنيات عامل الانتفاع

مثال 1 :

المطلوب إيجاد متوسط الاستضاءة على الحارة اليمنى والحارة اليسرى للشارع المبين في الشكل (5 — 12) وذلك إذا كان الشارع مضاء بصف فوانيس على جانب واحد فقط وإذا كان مضاء بصفتين متقابلين من الفوانيس على الجانبين • الفوانيس على ارتفاع 10 متر من سطح الشارع وتقدر 2.5 متر نحو محور الشارع وكل فانوس به مصباح له فيض ضيائي 40000 لوكس •

أولا : الاستضاءة على الحارة اليمنى :

من الشكل (5 — 11 a) نحصل على القيم التالية لعامل الانخفاض :

$$\eta [0 - 1.25 h] = 0.3$$

$$\eta [0 - 0.5 h] = 0.17$$

$$\eta [0.5 - 1.25 h] = 0.3 - 0.17 = 0.13$$

ومن المعادلة (5 — 3) نجد أن متوسط الاستضاءة هو ،

$$\begin{aligned} E' &= 0.13 \times 40000 / 7.5 \times 30 \\ &= 23.1 \text{ lux} \end{aligned}$$

ثانيا : الاستضاءة على الحارة اليسرى :

$$\eta [0 - 0.5 h] = 0.17$$

$$\eta [0 - (-0.25 h)] = 0.075$$

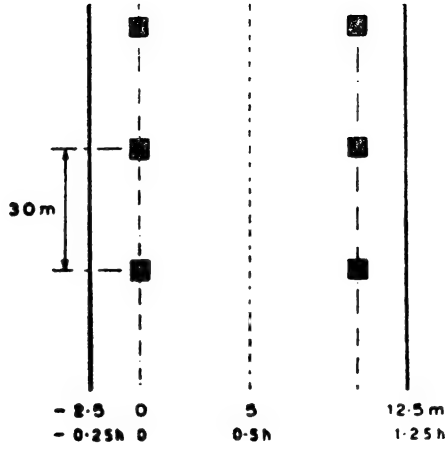
$$\eta [-0.25 h - 0.5 h] = 0.075 + 0.17 = 0.245$$

ومتوسط الاستضاءة ،

$$\begin{aligned} E' &= 0.245 \times 40000 / 7.5 \times 30 \\ &= 43.5 \text{ lux} \end{aligned}$$

وفي حالة اضاءة الشارع بفوانيس على الجانبين نجد أن ،

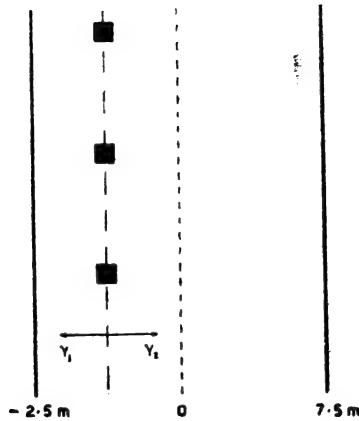
$$E' = 23.1 + 43.5 = 43.5 \text{ lux}$$



شكل 5 — 12

مثال 2 :

شارع عرضه 10 متر والفوانيس على ارتفاع 10 متر وتتدلى 2.5 متر نحو محور الشارع كما هو مبين في الشكل (5 — 13) المطلوب إيجاد زاوية ميل الفانوس δ ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$) التي تعطي أكبر قيمة لمتوسط الاستضاءة على عرض الشارع بأكمله .



شكل 5 — 13

يجب أن تكون 5° • وجدير بالذكر أن الميل الذي يعطى أكبر استضاءة قد يقلل درجة انتظام توزيع الضوء ويزيد درجة البهر •

3.6.5. حساب النصوص باستخدام جداول الانعكاس (r-tables)

يعرف النصوص عند أى نقطة على سطح الشارع بأنه

$$L = q E \quad \text{cd/m}^2 \quad (4 - 5)$$

حيث q هو معامل النصوص لسطح الشارع • ويعتمد هذا المعامل على زاوية سقوط الضوء (γ) وعلى موقع النقطة على السطح بالنسبة لموقع الفانوس (الزاوية β) وعلى زاوية الرؤية (α) بين عين السائق وسطح الشارع (شكل 5 - 7) • وحيث أن سائق السيارة يميل الى تركيز رؤيته على مسافة تتراوح بين 60 و 100 متر الى الامام فيمكن اعتبار الزاوية α ثابتة • وقد اتفق على أن تكون قيمتها الواحد • ويمكن كتابة المعادلة (4 - 5) بالشكل التالي :

$$L = \frac{q(\beta, \gamma) I(C, \gamma)}{h^2} \cos^3 \gamma$$

$$(5 - 5) \quad = r(\beta, \gamma) I(C, \gamma)/h^2$$

$$r = q \cos^3 \gamma \quad \text{حيث}$$

ويعرف بمعامل النصوص المختزل (reduced luminance coefficient) وتوجد جداول تعطى قيم r المناظرة لجميع القيم المحتملة لكل من β و $\tan \gamma$ هذا وقد أجريت قياسات على مئات العينات من أسطح الشوارع أمكن على ضوء نتائجها استخلاص أربعة جداول قياسية للمعامل r تعرف بالجدول R — 1 الى R — 4 بحيث يمكن تصنيف أى نوع من أنواع الاسطح ضمن أحد هذه الجداول الاربعة • والجدول منمر على حسب درجة نعومة السطح ، فالجدول R — 1 يمت الى السطح الأكثر خشونة فى حين أن الجدول R — 4 يمت الى الاسطح الأكثر نعومة • الا أنه وجد مؤخرًا أنه يمكن الاكتفاء بنوعين فقط من الاسطح القياسية بدون أن يؤثر ذلك على دقة الحسابات ولذلك فان المنظمة الدولية CIE فى صدد اصدار جدولين قياسيين فقط لقيم r يرمز لهم بجدول CI و CII •

وجدير بالذكر أنه نظراً لعدم توافر الخبرة الكافية في تحديد معامل النصوص عندما يكون سطح الشارع مبتلاً ، فإن تصميم اضاءة الشوارع تتم دائماً على أساس أن أسطحها جافة .

4.6.5. حساب النصوص عند نقطة باستخدام منحنيات الايسوكندلا/م²

النصوع الكلى عند أى نقطة P على سطح الشارع هو مجموع قيم النصوص الناتجة من كل فانوس على حدة :

$$L_P = \sum I(\gamma, C) q(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma / h^2 \quad (5 - 6)$$

وباستخدام هذه المعادلة يمكن حساب النصوص عند نقط مختلفة على سطح الشارع . واذا وقعت هذه النقط على رسم الشارع ثم وصلت جميع النقط المتساوية النصوص نحصل على مجموعة من المنحنيات تعرف بالاييسوكندلا/م² (isocandela/m²).

ويتم اعداد هذه المنحنيات بواسطة الحاسب الالى وذلك لكل نوع من أنواع الاسطح القياسية الاربعة المذكورة فى الفقرة السابقة وبغض النظر عن علو الفانوس وعلى أساس أن قيمة q هى الواحد* . والقيمة التى تبين على كل منحنى هى النصوص كنسبة مأوية من القيمة القصوى للنصوص الناتج من الفوانيس . ويمكن ايجاد القيمة المطلقة للنصوص من المعادلة الاتية :

$$L_P = L_r a \phi q_0 / h^2 \quad (5 - 7)$$

حيث L_r = النصوص النسبى عند النقطة

a = معامل خاص تحدد قيمته على حسب نوع الفانوس

المستخدم وتعطى قيمته بأسفل شكل الايسوكندلا

* يمكن الحصول على هذه البيانات من لوحات البيانات الفوتومترية للفوانيس الخاصة باضاءة الشوارع

Photometric Data Sheets for Street Lighting Lanterns

$$\phi = \text{الفيض الضيائي للمصباح} \cdot$$

$$h = \text{ارتفاع الفانوس عن سطح الشارع} \cdot$$

$$q_0 = \text{القيمة المتوسطة لعامل النصوص} \cdot$$

ويعطى الشكل (5 — 15) انموذجا من منحنيات الايسوكندلا/م² المعدة بواسطة حاسب آلى • وهى مستنتجة على أساس أن المراقب يقف فى المستوى $C = 0$ (شكل 5 — 7) وعلى بعد $10 h$ من الفانوس • وطريقة استخدام هذه المنحنيات تتوقف على مكان المراقب كما سنوضح فيما يلى :

أ) المراقب على خط مستقيم مع صف الفوانيس

يتم اعداد رسم للشارع بحيث تحدد أبعاده بدلالة علو الفانوس عن سطح الشارع ثم توضع نسخة شفافة من رسم الايسوكندلا المناظر لنوع سطح الشارع ونوع الفانوس بحيث يتطابق المحور الطولى للفوانيس مع المحور الطولى للرسم ويتطابق موقع الفانوس مع مركز الرسم • ويمكن بعد ذلك قراءة قيمة النصوص النسبى عند أى نقطة من منحنى الايسوكندلا الذى يمر بهذه النقطة ثم حساب النصوص الفعلى من المعادلة (5 — 7).

ب) المراقب فى موقع خارج صف الفوانيس

يعتمد النصوص عند نقطة على الشارع تقع بين المراقب والفانوس على التوزيع الضوئى للفانوس وعلى موقع النقطة بالنسبة للمراقب والفانوس • أما النصوص عند نقطة تقع خلف الفانوس بالنسبة للمراقب فهو لا يكاد يعتمد على موقع المراقب وانما يعتمد أساسا على التوزيع الضوئى للفانوس • وبناء على ذلك فإنه يمكن استخدام منحنيات الايسوكندلا/م² (التي تفترض أن المراقب على خط مستقيم مع الفانوس) بالطريقة المشار إليها فى (أ) أعلاه إذا كانت النقطة تقع خلف الفانوس • أما بالنسبة للنقط التى تقع بين الفانوس والمراقب فيجب دوران رسم الايسوكندلا بحيث يتطابق محوره الطولى مع الخط الواصل بين موقع المراقب والفانوس • وجددير بالذكر أن هذه الطريقة تعطى نتائج تتراوح دقتها بين $\pm 10\%$ بشرط ألا تزيد زاوية دوران رسم الايسوكندلا عند 5° ، أى أن بعد المراقب من المستوى $C = 0$ يجب ألا يزيد عن $0.875 h$ وذلك عندما يكون واقفا على بعد $10 h$ من الفانوس •

خطوات الحل :

أ) يرسم المسقط الافقى للشارع بدلالة علو الفوانيس مستخدماً نفس المقياس للرسم كمقياس منحنيات الايسوكندلا ويبين الرسم موقع المراقب (O)

ب) يوضع رسم الشارع على رسم الايسوكندلا/م² بحيث يتطابق موقع الفانوس L₂ مع النقطة التى تمثل أقصى نصوع ويتطابق المحور الطولى للفوانيس مع المحور المناظر للمنحنيات ثم تشف منحنيات الايسوكندلا على رسم الشارع (المنحنيات ذات الخطوط المستمرة فى الشكل 5 — 16) •

ج) يعاد نفس الاجراء بالنسبة للفانوس L₂ مع مراعاة تطابق محور الرسم مع الخط L₁O ثم تشف منحنيات الايسوكندلا على رسم الشارع (المنحنيات ذات الخطوط المتقطعة فى الشكل 5 — 16) •

د) التأكد أن زاوية دوران المحور فى الخطوة (ج) لا تزيد عن 5° •

هـ) نقرأ من الرسم قيمة النصوع النسبى الناتجة من كل فانوس عند A وعند B •

ف عند النقطة A $L_{r1} = 100\%$ ، $L_{r2} = 1\%$

$$L_{rA} = 100 + 1 = 101\%$$

وعند النقطة B : $L_{r1} = 4\%$ ، $L_{r2} = 4\%$

$$L_{rB} = 4 + 4 = 8\%$$

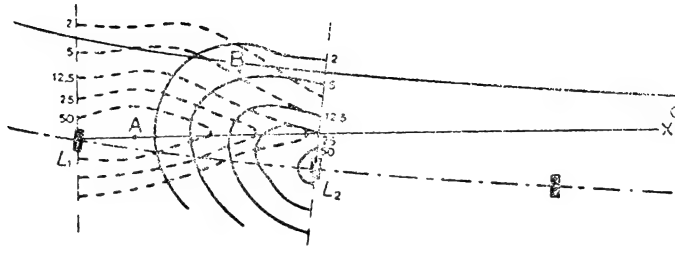
ومن المعادلة 5 — 7 نجد أن

$$L_A = \frac{101 \times 0.104 \times 40000 \times 0.1}{100 \times 100}$$

$$= 4.2 \text{ cd/m}^2$$

وأن

$$L_B = 0.33 \text{ cd/m}^2$$



شكل 5 — 16

5.6.5. حساب القيمة المتوسطة للنصوع باستخدام منحنيات انتاجية النصوع

يمكن ايجاد القيمة المتوسطة للنصوع بالنسبة لشارع مستقيم طوله
لا نهائى من المعادلة الاتية :

$$L_a = \frac{\eta_L q_o \Phi}{wsd} \quad (5 - 8)$$

حيث

η_L = عامل انتاجية النصوع (luminance yield factor)

q_o = القيمة المتوسطة لعامل النصوع

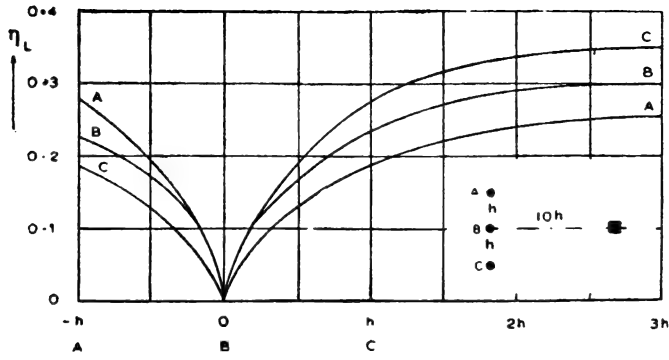
Φ = الفيض الضيائي للمصباح

w = عرض الشارع

s = التباعد بين الفوانيس

d = عامل الاستهلاك (depreciation factor)

ويتم تحديد عامل انتاجية النصوع من البيانات الفوتومترية الخاصة بنوع
الفانوس ونوع سطح الشارع وهى تعطى على شكل ثلاثة منحنيات تبين العلاقة
بين عامل الانتاجية والبعد عن الفانوس بدلالة علو الفانوس (شكل 5 — 17)
وكل منحنى يصلح لموقع معين لنقطة المراقبة (A أو B أو C) كما هو
مبين فى الرسم المدرج بالشكل .



شكل 5 — 17. منحنيات عامل الانتاجية

مثال :

المطّوب ايجاد القيمة المتوسطة للنصوع بالنسبة للحارة اليمنى من الشارع المابين فى الشكل (5 — 18) اذا كانت نقطة المراقبة تقع على المحور الطولى للفوانيس (موقع O) واذا علم أن نوع سطح الشارع هو R — 2 وأن

$$\phi = 20000 \text{ لومن}$$

$$h = 10 \text{ متر}$$

$$s = 50 \text{ متر}$$

$$q_0 = 0.10$$

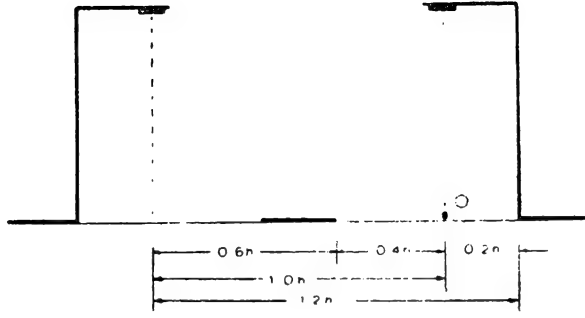
الخطوة الاولى هى ايجاد عامل انتاجية النصوع لكل صف من الفوانيس .
الحارة اليسرى : نقطة المراقبة تقع على مسافة h الى يمين الصف الايسر للفوانيس وهذا معناه استخدام المنحنى C فى الشكل (5 — 17) ومنه نجد أن

$$\eta [0 - 1.2 h] = 0.29$$

$$\eta [0 - 0.6 h] = 0.19$$

$$\eta [0.6 h - 1.2 h] = 0.29 - 0.19 = 0.10$$

الحارة اليمنى : نقطة المراقبة تقع على محور الصف الايمن للفوانيس وهذا معناه استخدام المنحنى B فى الشكل (5 — 17) ومنه نجد أن



شكل 5 — 18

$$\eta [0 - (-0.2h)] = 0.09$$

$$\eta [0 - 0.4h] = 0.15$$

$$\eta [(-0.2h) - 0.4h] = 0.09 + 0.15 = 0.24$$

الخطوة الثانية هي إيجاد متوسط النصوص لكل صف من الفوانيس من المعادلة (5 — 8) :

بالنسبة للصف الايسر :

$$La = 0.10 \times 0.10 \times 20000/50 \times 60 \\ = 0.67 \text{ cd/m}^2$$

بالنسبة للصف الايمن :

$$La = 0.24 \times 0.10 \times 20000/50 \times 60 \\ = 1.6 \text{ cd/m}^2$$

والقيمة المتوسطة بالنسبة للحارة اليمنى هي اذا

$$La = 0.67 + 1.60 = 2.27 \text{ cd/m}^2$$

7.5. نبذة عن المواصفات القياسية في البلاد المختلفة

تعتبر توصيات الـ CIE لاضاءة الشوارع غير ملزمة أى أن الدول الاعضاء فى هذه المنظمة ليست مجبرة أن تلتزم بها ولا أن تتبع طرق التصميم

المقترحة الا أنه من المنطقى أن يكون لهذه التوصيات صدى فى المواصفات الوطنية لهذه الدول • ويجدر بنا هنا أن نذكر مدى اقدم الدول المختلفة على تطبيقت هذه المواصفات ومدى اختلاف المواصفات القياسية الوطنية والنظم العدلية عن هذه التوصيات •

فمثلا نجد أن فرنسا قد تبنت توصيات الـ CIE لمستويات انصوع لانواع الشوارع المختلفة ووضعت طريقتى تصميم للحصول على هذه المستويات • الطريقة الاولى هى طريقة الـ CIE باستخدام الحاسب الآلى ويشترط حساب الاستضاءة أيضا حيث أن النصوع كمية غير مقبولة فى شروط التعاقد • والسبب فى ذلك هو أن قيمة النصوع المقاسة عند انتهاء التركيبات غد تختلف عن القيمة المحسوبة نظرا لاختلاف الخواص العاكسة لسطح الشارع عن الجداول القياسية (جداول R) ، أما قيمة الاستضاءة فهى لاتعتمد على نوع سطح الشارع • والطريقة الثانية تستخدم نسبة خاصة هى (متوسط الاستضاءة/متوسط النصوع) قد حددت قيمتها بالنسبة لسطح المختلفة • فلابد المسافة بين الفوانيس التى تعطى قيمة معينة للنصوع يكفى حساب الاستضاءة باستخدام عوامل الارتفاع • ويمكن تحديد كمية البهر باختيار الفوانيس من نوع الـ CO أو الـ SCO كما يمكن التحكم الى حد ما فى انتظام الاضاءة بتحديد النسبة بين تباعد الفوانيس وعلوها • وهذه الطريقة ليست دقيقة ولكنها مفيدة جدا فى الحالات الاتية :

أ (لايجاد القيمة التقريبية لتباعد الفوانيس فى المشاريع الكبيرة وذلك قبل الاستعانة بالحاسب الآلى •

ب) فى المشاريع التى معروف فيها مسبقا عدم امكانية وضع الفوانيس فى الاماكن الصحيحة نظرا لتواجد أشجار أو مداخل جراجات أو وجهات عرض المتاجر •

L'Association Française de l'Eclairage : "Recommandations relatives *
à L'eclairage des voies publiques" (Lux, Société d'Éditions de Propagande,
Paris, 1978)

وتستخدم الاستضاءة كأساس لتصميم اضاءة الشوارع فى كل من المجر
 وأسبانيا وأمريكا الشمالية • ويبين الجدول التالى القيم الصغرى للاستضاءة
 التى توصى بها المواصفات الامريكية* وهذه القيم هى القيم الصغرى بعد
 الاخذ فى الاعتبار جميع عوامل الفقد فى الضوء وتناقص ضوء المصابيح لقرب
 انتهاء عمرها • وقد تمثل هذه القيم ما بين 50 الى 60% من الاستضاءة
 الابتدائية •

جدول 4.5 القيم المتوسطة للاستضاءة (لوكس) طبقا للمواصفات الامريكية

طبيعة المنطقة			
سكنية	شبه تجارية	تجارية	نوع الشارع
6	6	6	طريق سريع
11	15	22	طريق رئيسى
			طريق اتصال بين طريق
6	10	13	رئيسى وشارع عمومى
4	6	10	شارع عمومى
2	4	6	شارع جانبى (حارة)

وبالاضافة الى هذه القيم الدنيا للاستضاءة يجب ضمان انتظام مناسب
 للضوء • والمعيار للانتظام هو النسبة بين قيمة الاستضاءة المتوسطة داخل
 المساحة التى بين الفانوسين والقيمة الصغرى للاستضاءة داخل هذه المساحة •
 ويجب ألا تزيد هذه النسبة عن 3 لجميع أنواع الشوارع فيما عدا الشوارع
 السكنية حيث يجب ألا تزيد النسبة عن 6 •

ويتم تصنيف التوزيع الضوئى للفانوس من رسم يعد خصيصا لهذا
 الغرض • ويبين الشكل (5 — 19) أنموذجا لهذا الرسم وفيه تمثل نقطة الاصل
 موقع الفانوس • يدرج المحور الافقى بدلالة النسبة بين البعد العرضى وعلو

American National Standard practice for roadway lighting', ANSI/IES *
 Report RP-8, 1977.

الفانوس ويحدد المحور الرأسى بدلالة النسبة بين البعد الطولى وعلو الفانوس .
ثم يوقع على هذا الرسم الخصائص التالية للفانوس :

أ (النقطة التى تمثل القيمة القصوى لشدة الاضاءة .

ب) المنحنى الذى يمر بجميع النقط التى تتساوى عندها شدة الاضاءة
(ايسوكندلا) وتكون قيمتها نصف شدة الاضاءة القصوى .

ويتم تقسيم الفوانيس الى ثلاث مجموعات على حسب التوزيع الرأسى لضوء
الفانوس كالآتى :

أ (فانوس قصير التوزيع (short) : اذا وقعت نقطة شدة الاضاءة
القصوى بين الخطين الافقيين 1 و 2.25 .

ب) فانوس متوسط التوزيع (medium) : اذا وقعت نقطة شدة الاضاءة
القصوى بين الخطين الافقيين 2.25 و 3.75 .

ج) فانوس طويل التوزيع (long) : اذا وقعت نقطة شدة الاضاءة
القصوى بين الخطين الافقيين 3.75 و 6.0

ويقترح ألا تزيد المسافة بين الفوانيس عن الاطوال الاتية (بدلالة علو
الفانوس h)

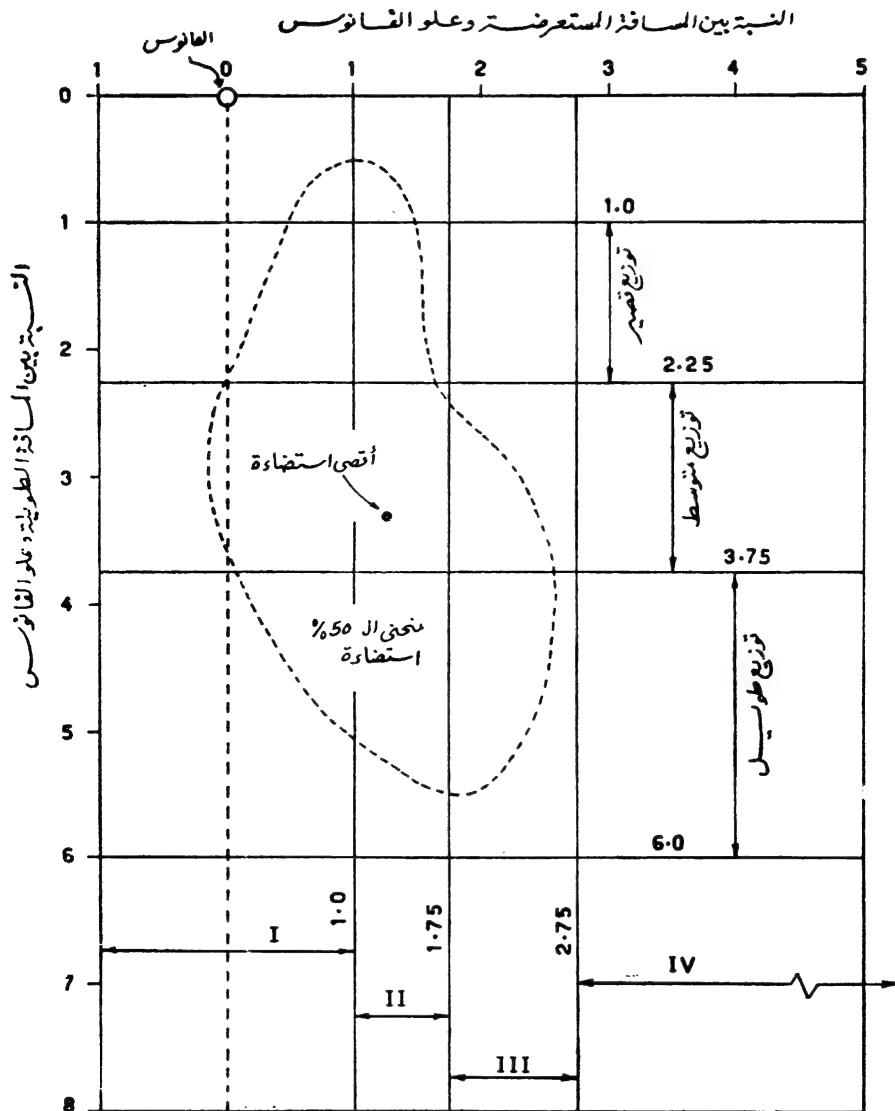
– فانوس قصير التوزيع : 4.5 h

– فانوس متوسط التوزيع : 7.5 h

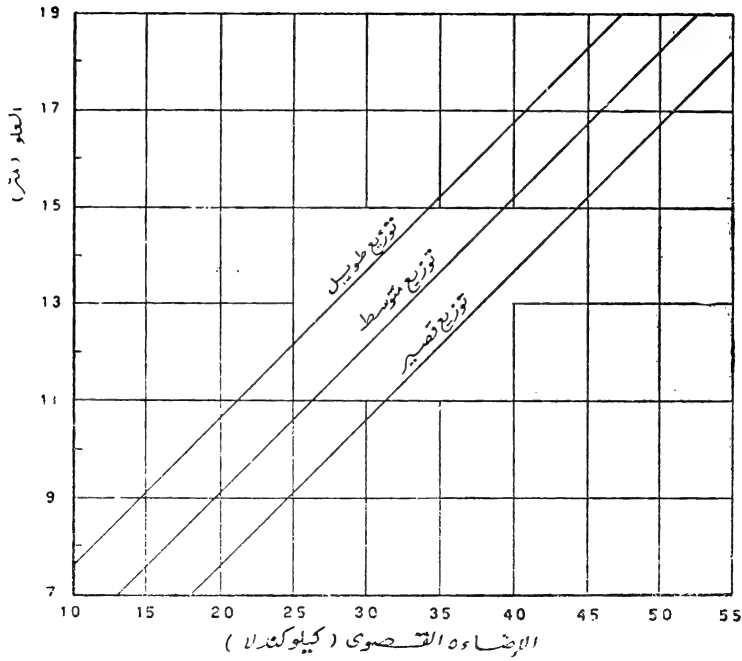
– فانوس طويل التوزيع : 12.0 h

ويمكن استخدام الشكل (5 — 20) كمجرد دليل لتحديد علو الفانوس حيث
يجب الاخذ فى الاعتبار تأثير تباعد الفوانيس ونظام توزيعها على القيم
الموصى بها لمستوى الاضاءة وانتظامها ودرجة البهر وذلك بغض النظر عن علو
الفانوس . وجددير بالذكر أن زيادة علو الفانوس قد يحد من درجة البهر الا أن
هذا ليس قاعدة ثابتة حيث أن التوزيع الضوئى للفانوس والقدرة الضيائية
للمصباح يؤثران تأثيرا كبيرا على البهر .

وتصنف الفوانيس أيضا على حسب التوزيع الضوئي الجانبي كالاتي
(شكل 5 — 19) :



شكل 5 — 19. تصنيف الفوانيس على حسب التوزيع الرأسى للضوء



شكل 5 — 20 العلاقة بين أقصى علو للфанوس وقدرة المصباح الخاص بالفانوس

طراز الفانوس	موقع الفانوس	عرض منحني الايسوكوندالا مقاسا من خط الاسناد
I	عند أو بقرب منتصف الشارع	يقع بين الخطين الرأسيين — 1 و 1
II	على جانب الشارع	في حدود 1.75
III	على جانب الشارع	يقع جزئيا أو كليا بين 1.75 و 2.75
IV	على جانب الشارع	يزيد عن 2.75
V	عند التقاطعات	انحنى دائرى الشكل

وبناء على هذا التصنيف يتضح أن الرسم المبين في الشكل (5 — 19) هو لفانوس «طراز III — متوسط التوزيع» *

ويمكن الاستعانة بالجدول التالي كدليل لاختيار طراز الفانوس :

عرض الشارع	نظام الفوانيس	طراز الفانوس
حتى 1.5 h	على جانب واحد أو بنظام مختلف	II - III - IV
أكبر من 1.5 h	خلاشي أو متقابل	III - IV
حتى 3 h	في منتصف شارع مزيج	II - III

والتحكم في البهر يتم عن طريق تصنيف الفوانيس كما سبق أن ذكرنا في الفقرة 4.5. ففي المملكة المتحدة وهولندا وإيطاليا والاتحاد السوفيتي يؤخذ بدرجة البهر المشرف والتزايدى TI كمعايير للبهر المزج والبهر المعوق في حين أن دولا أخرى مثل النرويج والمانيا الاتحادية مازالت تعمل بمواصفات الـ CIE المبينة بالجدول 2.5. *

8.5. أنواع المصابيح المستخدمة في اضاءة الشوارع

الاتجاه الحديث في اضاءة الشوارع هو استخدام اما مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض (فقرة 3.3.4) أو مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي (فقرة 4.3.4) * ويفضل استخدام مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض في اضاءة الطرق السريعة حيث أن ضوءها يتميز عن أضواء المصابيح الأخرى بالصفات الآتية :

- حدة رؤية أكبر
- الانطباع بسطوع أكبر عند نفس القيمة لنصوع الشارع
- سرعة ادراك أكبر
- بهر مزج أقل
- وقت أقصر لافاقة العين بعد اصابتها بالبهر *
- والقدرات الأكثر استخداما في الطرق السريعة هي 135 وات على علو 10 مترو 180 وات على علو 12 متر *

أما فى الشوارع التى بها سيارات ومشاه فىفضل استخدام مصابيح
الصوديوم ذات الضغط العالى نظرا لمانتها الجيدة لنقل الالوان والقدرات
الشائع استخدامها هى 150 وات على علو 10 مترو 250/400 وات على
علو 12 متر •

المراجع

1. Stanley, R. C., "Light and Sound For Engineers," T. Nelson and Sons Ltd. 1968, London Chapter 7, pp 144-163.
2. Hazeltine Staff McIlwain and Dean Editors, "Principles of Colour Television," Wiley, London, 1965, Chapters 1-3.
3. Pritchard, D.C., "Lighting," Environmental Physics, Longman, London and New York 1969, Chapters 1-5.
4. Meshkov, V. V., "Fundamentals of Illumination Engineering," Mir Publishers, Moscow, 1981.
5. IES Lighting Handbook — Illumination Engineering Society, New York, 1972.
6. Interior Lighting Design by D.W. Durrant, Published Jointly by the Lighting Industry Federation Limited and the Electricity Council, London, 1975.
7. Philips Lighting Manual, N. V. Philips Gloeilampenfabrieken, 1975.
8. IEE Proceedings - A, Vol. 127, No. 3, April 1980, Special issue on Light Source Technology.
9. Low-pressure Sodium discharge lamps — review by J. W. Denneman, Proc. IEE, A, vol 128, September 1981, pp. 397-441.
10. Road Lighting - review by R. A. Hargroves, Proc. IEE, A, vol 130, November 1983, pp. 420-441.
11. "Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic," CIE Publ. 12-2 (TC 4.6), 1977.
12. "Road Lighting lantern and installation data - photometrics, classification and performance," CIE Publ. 34 (TC 4.6), 1977
13. "Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting", CIE Publ. 30 (TC - 4.6), 1976.
14. "Glare and uniformity in road lighting installations", CIE Publ. 31 (TC - 4.6), 1976.

الفنية للطباعة والنشر
١٨ شارع حمودة - رأس المنية - الإسكندرية
تليفون ٨٠٣٢٥٠

مجموعة اساس شبكات توزيع القوى الكهربائية

- التأريض الوقائي
- نظم التوزيع وتنظيم الجهد
- الاضاءة
- حساب الاخطاء ونظم الوقاية
- الكابلات ومحولات التوزيع